



**António Manuel
Nunes Matos**

**Plataforma para a gestão e monitorização de redes
sem fios**



**António Manuel
Nunes Matos**

**Plataforma para a gestão e monitorização de redes
sem fios**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electrónica e Telecomunicações, realizada sob a orientação científica do Doutor Diogo Gomes, Professor Auxiliar Convidado do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro e do Doutor Rui Aguiar, Professor Associado com Agregação do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro.

o júri

Presidente

Professor Doutor José Carlos da Silva Neves

Professor Catedrático do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro

Vogal

Prof. Jorge Augusto Fernandes Ferreira

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Vogal

Prof. Doutor Rui Luís Andrade Aguiar

Professor Associado com Agregação do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro (Orientador)

Vogal

Prof. Doutor Diogo Nuno Pereira Gomes

Professor Auxiliar Convidado do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro (Co-Orientador)

agradecimentos

Aos meus orientadores pelo tempo e esclarecimentos prestados. E a todos os que me ajudaram de forma directa ou indirecta a concluir este projecto.

palavras-chave

Redes sem fios, Redes de Teste, Monitorizar, OMF, AMaZING

resumo

Existe uma necessidade e interesse crescente em estudar as redes sem fios antes destas serem implementadas, com rigor e da forma mais detalhada e próxima da realidade possível. Neste trabalho é analisado o estado da arte actual e proposto uma arquitectura modular para monitorização dos equipamentos utilizados na rede de teste.

É proposta a implementação de módulos de *hardware* e *software*, que tem como objectivo monitorizar remotamente aspectos críticos. Como aspectos críticos entende-se a orientação dos equipamentos (que pode variar devido a ventos fortes), a temperatura interna, a presença de água no interior do equipamento e corrente de funcionamento. Sendo os dados recolhidos enviados para a base de dados e em casos críticos os módulos actuam desligando a energia dos equipamentos para evitar possíveis danificações destes.

.

Keywords

Wireless Networks, Monitoring, Testbeds, OMF, AMaZING

Abstract

There is a need and growing interest in studying wireless networks before implementation with greater accuracy and more detailed and close as possible to reality. In this work it is made an analysis of the current state of the art and proposed a modular architecture for control the equipment used in the Testbed. It is proposed an implementation of hardware and software modules which aims to remotely control critical aspects. These critical aspects are orientation of the equipment (which can vary due to strong winds), the internal temperature, the presence of water inside the equipment and operating current. The data collected is sent to the database and in case off a critical event the module shutdown the power of the equipment to prevent damage.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objectivos	3
1.3	Estrutura da Tese	3
2	Testbeds ou Redes de Teste	5
2.1	Umic Mesh	6
2.2	Roofnet - MIT	7
2.3	ORBIT	9
2.4	AMazING	10
3	Tecnologias utilizadas na Monitorização dos equipamentos	13
3.1	Protocolos de comunicação	13
3.1.1	Ethernet	13
3.1.2	CAN	15
3.1.3	RS232	19
3.1.4	I ² C	22
3.2	Sensores	26
3.2.1	Metrologia	26
3.2.2	Medição de Temperatura	28
3.2.3	Posição	34
3.2.4	Sensores de humidade	37
3.2.5	Sensores de corrente	38
4	Hardware utilizado	41
4.1	Fonte de alimentação e regulador de tensão	41
4.2	Amplificadores	42
4.3	Unidade de Processamento	45
5	Implementação e solução proposta	47
5.1	Módulo de monitorização	48
5.1.1	Temperatura	48
5.1.2	Medição de Corrente	51
5.1.3	Posição	52
5.1.4	Verificar a presença de água	55
5.1.5	Relé	59
5.2	Módulo de recepção	60
6	Resultados	63
6.1	RS232	63
6.2	Temperatura	66
6.3	Medição da Corrente	67
6.4	Posição	68

6.5	Detecção de água	69
7	Conclusões	73
8	Bibliografia.....	75

Índice de Figuras

Figura 1 – Arquitectura da rede UMIC	6
Figura 2 – Mapa da rede Roofnet.....	8
Figura 3 – Execução de uma experiência na ORBIT	10
Figura 4 – Rede experimental AMazING	11
Figura 5 – Cabo Ethernet RJ45	15
Figura 6 – Mensagem CAN Data Frame.....	18
Figura 7 – Níveis lógicos no RS232.....	21
Figura 8 – Transferência de dados no I2C	24
Figura 9 – Esquema de uma transferência de dados no I2C	25
Figura 10 – Compensação da junção fria nos termopares.....	29
Figura 11 – Exemplos de termopares	29
Figura 12 – Exemplos de RTD's.....	30
Figura 13 – Exemplos de NTC's.....	31
Figura 14 – Sensor de temperatura integrado.....	32
Figura 15 – Exemplo de um potenciômetro	34
Figura 16 – Exemplo de acelerómetros.....	35
Figura 17 – Tilt Switchs	36
Figura 18 – Esquema de funcionamento de 2 tipos Tilt switch	37
Figura 19 – Exemplos de sensores de humidade.....	38
Figura 20 – Exemplos de sensores de corrente	39
Figura 21 – LM7805	42
Figura 22 – Amplificador de instrumentação com 3 Op-amps	44
Figura 23 – PIC 18F2550	45
Figura 24 – Esquema global da solução proposta	47
Figura 25 – Circuito implementado para medir a temperatura	49
Figura 26 – Fluxograma da medição de temperatura	50
Figura 27 – Circuito implementado para medir a corrente	51
Figura 28 – Fluxograma da medição de corrente	53
Figura 29 – Circuito implementado para verificar a posição	54
Figura 30 – Placa utilizada para detectar a presença de água	56

Figura 31 – Circuito implementado para detectar a presença de água.....	57
Figura 32 – Fluxograma da rotina de detecção de água	58
Figura 33 – Circuito implementado para cortar a corrente	59
Figura 34 – Esquema do módulo de recepção.....	60
Figura 35 – Circuito de teste da atenuação do sinal no cabo RJ45	63
Figura 36 – Resultados para 5V	64
Figura 37 – Resultados usando o Max232	64
Figura 38 – Resultados usando à saída do Max232	65
Figura 39 – Tensão medida aos terminais da resistência Rsen	67
Figura 40 – Queda de tensão com maior resolução	68
Figura 41– Tempo reacção do Tilt	69
Figura 42 – Tensão obtida na presença de água.....	70
Figura 43 – Teste humidade	71

Índice de tabelas

Tabela 1 – Tensão e temperatura correspondente	49
Tabela 2 – Valores para uma corrente de 2A	52
Tabela 3 – Ângulos de actuação do Tilt	54

Índice de Gráficos

Gráfico 1 – Valores de temperatura medidos	66
--	----

Lista de Acrónimos

A

AMazING – Advanced Mobile wIreless Network playground

ASCII – American Standard Code for Information Interchange

ADC – Analog to Digital Converter

B

BA – Bitwise Arbitration

BIPM – Bureau International des Poids et Mesures

C

CAN – Controller area network

CMRR – Common Mode Rejection Ratio

CS – Carrier Sense

CSMA/BA – Carrier Sense Multiple Access with Bitwise Arbitration

CSMA/CD – Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection

D

DEC – Digital Equipment Corporation

E

EBCDIC – Extended Binary Coded Decimal Interchange Code

H

HTTP – HyperText Transfer Protocol

I

I²C – Inter-Integrated Circuit

ID – Identification

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

IP – Internet Protocol

IT – Instituto de Telecomunicações

L

LAN – Local Area Network

M

MA – Multiple Access

MAP – Mesh at Purdue

MIT – Massachusetts Institute of Technology

MSB – Most Significant Bit

N

NFS – Network File System

NIC – Network Interface Controller

NTC – Negative Temperature Coefficient

O

OMF – cOntrol and Management Framework

OML – OMF Measurement Library

OP-AMP – OPerational AMPlifier

P

PC – Personal Computer

PSRR – Power Supply Rejection Ratio

R

RPM – Rotações Por Minuto

RS-232 – Recommended Standard 232

RTD – Resistance Temperature Detector

RWTH – Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule

S

SCL – Serial CLock line

SDA – Serial DAta line

SI – Sistema Internacional

SNMP – Simple Network Management Protocol

SO – Sistema Operativo

U

UCR – University of California, Riverside

UCSB – University of California, Santa Barbara

UMIC – Ultra high-speed Mobile Information and Communication Systems

USB – Universal Serial Bus

V

VDD – Voltage Drain Drain

VIH – Input High Voltage

VIL – Input Low Voltage

1 Introdução

1.1 Enquadramento

O desenvolvimento das tecnologias de redes sem fios ao longo dos últimos anos tem sido imenso, a comodidade, a sua enorme gama de aplicações e o decréscimo do preço dos equipamentos têm contribuído para um aumento da sua utilização nas redes locais. O padrão para as redes sem fios locais é da família IEEE 802.11 [1], é possível encontra-las nos locais de lazer, nos restaurantes, nas casas, nos meios de transporte, nos locais de trabalho. Longe vai o tempo em que para se aceder a uma rede era necessário ter um cabo e encontrar uma porta livre, mas será a rede capaz de tirar o máximo rendimento dos recursos disponíveis? Conseguirá a rede oferecer as mesmas condições a todos os utilizadores? Qual o alcance dela e qual a interferência das outras redes que a rodeia? São apenas algumas questões que surgem quando se pretende implementar uma nova rede.

É portanto relevante e de grande interesse a avaliação do desempenho de algoritmos e protocolos. Simulação, emulação e experimentação são três das técnicas mais comuns no domínio da análise de desempenho em redes sem fios [2].

Simulação é a abordagem mais comum, permite uma visão rápida e eficaz para testar protocolos. São muitas as ferramentas de simulação que tentam recriar e prever o comportamento de ambientes reais em diferentes cenários (ex.[3]), tendo como base um modelo matemático. Apesar de apresentarem vantagens como um custo mais baixo, facilidade e flexibilidade de desenvolvimento, as ferramentas de simulação pecam por utilizarem modelos simplificados, que não conseguem traduzir fielmente as condições de um ambiente real, fornecendo resultados diferentes da realidade, válidos para uma primeira aproximação, mas insuficientes para uma análise mais aprofundada.

Emulação é uma solução híbrida que combina *hardware* e *software* com o objectivo de imitar o comportamento de uma rede com alguns dos seus componentes implementados em ambiente real e outros simulados. Esta alternativa oferece assim replicabilidade, um controlo apertado sobre a experiência e um certo grau de realismo. No

entanto, esta solução nem sempre consegue rigorosamente recriar as complexidades do mundo real falhando ou em alguns casos diferindo na velocidade de resposta uma vez que se trata de *hardware* diferente [2].

Redes experimentais [4] são uma alternativa à emulação e tentam dar resposta às incapacidades dos dois métodos anteriores, que apesar de serem ferramentas importantes na avaliação de desempenho de redes levam por vezes a resultados díspares da realidade devido à utilização de pressupostos irrealistas ou modelos demasiado simplificados. As redes de teste tentam assim fazer a ponte entre simulação e a implementação real, proporcionando um ambiente para testes semelhante ao real, com a possibilidade de configuração, monitorização e execução de experiências remotamente. Contudo levantam-se algumas questões em relação às redes de teste, tais como custos elevados, quer de desenvolvimento quer de manutenção. De salientar também as dificuldades na reutilização da estrutura desenvolvida, uma vez que grande parte das redes de teste são criadas para uma experiência em particular, perdendo a utilidade terminada a experiência pois em muitos casos, novas experiências requerem outras especificações ao nível do *hardware*.

É pois necessário o desenvolvimento de plataformas de teste mais genéricas que permitam implementar protótipos em ambientes reais controlados, que permitam correr várias experiências, com resultados próximos da realidade. A plataforma de gestão de redes de testes OMF [5], vem colmatar algumas destas falhas, proporcionando um conjunto de ferramentas para instrumentação e execução de uma experiência, recolha de resultados e gestão dos recursos da rede.

Esta dissertação será desenvolvida com o objectivo de melhorar a informação fornecida quer ao utilizador, quer ao gestor da rede, recolhendo dados que não são visados pela plataforma OMF e proteger os equipamentos (uma vez que estes se encontram no telhado estando assim expostos às intempéries).

1.2 Objectivos

Esta dissertação tem como principal objectivo o desenvolvimento e implementação de módulos de *hardware* e *software*, capazes de monitorizar remotamente aspectos críticos. Como aspectos críticos entende-se a orientação dos equipamentos (que pode variar devido a ventos fortes), a temperatura interna, a presença de água no interior do equipamento e corrente de funcionamento. Sendo os dados recolhidos enviados para a base de dados e em casos críticos os módulos actuam desligando a energia dos equipamentos para evitar possíveis danificações destes.

Inerentemente a este objectivo principal da dissertação existem outros objectivos secundários, como a investigação de redes de testes com características semelhantes, o estudo do mercado dos sensores (tendo em vista os aspectos que se pretende monitorizar) e dos protocolos de comunicação utilizados para a comunicação entre dispositivos. Pretende-se evitar passar novos cabos para a comunicação dos módulos, logo esta deverá utilizar as infra-estruturas já existentes.

De salientar que o custo de produção dos módulos e energia utilizada são factores a ter em conta pois pretendem-se que este seja baixo.

1.3 Estrutura do Documento

Esta dissertação está dividida em capítulos, com a seguinte organização:

No Capítulo 2 é feito um reconhecimento das redes de testes actualmente existentes e identificadas as mais interessantes na óptica de monitorização da rede.

No Capítulo 3 é realizada uma abordagem às tecnologias disponíveis para monitorização dos equipamentos, abordando os protocolos de comunicação e os sensores.

No Capítulo 4 é descrito algumas das principais características do *hardware* utilizado.

Introdução

No Capítulo 5 é apresentada a solução proposta, dividida em duas secções, módulo de monitorização e recepção. É ainda descrita a sua implementação e fluxogramas do *software* desenvolvido.

No Capítulo 6 são analisados os resultados obtidos.

Por fim, no Capítulo 7 são apresentadas algumas conclusões sobre o trabalho efectuado.

2 Testbeds ou Redes de Teste

Redes de testes são um componente chave no desenvolvimento de novas tecnologias de rede, e essa percepção levou a muitas iniciativas à escala mundial com o objectivo de projectar, fornecer e operar essas redes. A complexidade e, muitas vezes o alto custo de implantação e operação das redes experimentais torna-as inacessíveis para muitos investigadores. Além disso, estas muitas vezes são construídas como parte de um projecto específico e raramente permanecem operacionais após o final desse projecto. Este desperdício de recursos é um dos principais motivos para o financiamento de redes de testes mais flexíveis voltadas para estudos abrangentes, que não estejam apenas associadas a um projecto. Exemplos de sucessos iniciais para esta abordagem são PlanetLab [6] e Orbit [7]. No entanto, ambos são relativamente limitados em termos das capacidades da rede de teste e tecnologia disponível.

Actualmente, existem a nível global várias redes de teste. Estas redes de teste assentam em plataformas criadas com diferentes propósitos e possuindo distintas abordagens, quer em relação às características dos nós e sua configuração, quer em relação às métricas registadas e ao seu processo de medição e recolha.

Do universo de redes experimentais existentes, merecem especial destaque a UMIC Mesh [8] , que possui uma ferramenta própria para a gestão e configuração dos nós, Roofnet [9] do MIT [10] , cujos nós são configurados manualmente, Orbit, rede de testes que deu origem à plataforma OMF e à biblioteca OML [11], sendo estas últimas utilizadas na rede de testes desta dissertação e, por fim, AMazING, a rede que se pretende monitorizar.

Para além das redes experimentais previamente mencionadas existem muitas outras (i.e.[12]), que não serão alvo de uma análise mais detalhada como as anteriores, por várias razões como o facto de possuírem características e objectivos diferentes dos deste projecto e/ou falta de informação.

2.1 Umic Mesh

UMIC-Mesh.net é uma rede de testes híbrida sem fios, da autoria do grupo de investigação UMIC, que consiste em 51 nós reais e um ambiente de teste virtual. Isto permite por um lado o desenvolvimento e teste de *software* num ambiente virtual de uma forma controlável e replicável, por outro lado os resultados e conclusões podem ser facilmente transferidos para a realidade, devido ao elevado grau de realismo que a rede de teste oferece.

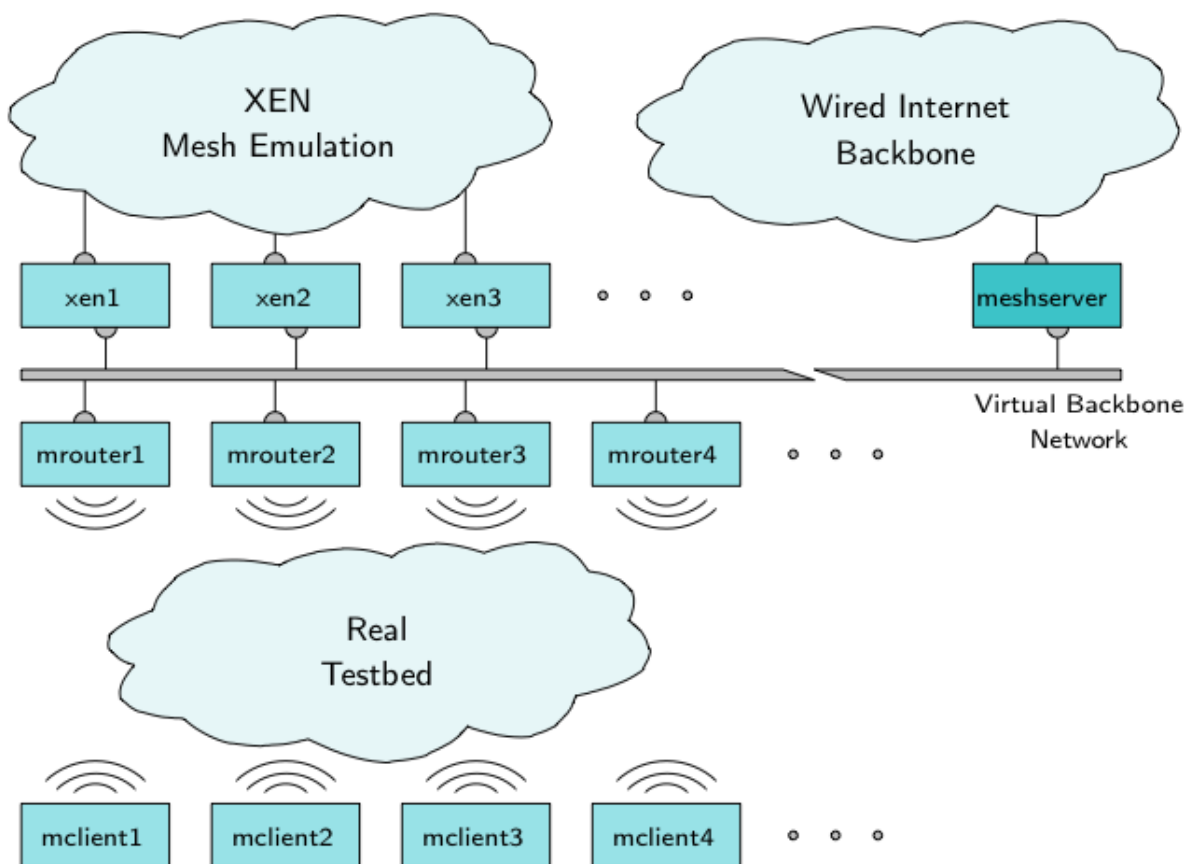


Figura 1 – Arquitectura da rede UMIC

A figura 1 [17] ilustra uma arquitectura que integra as diversas abordagens e, assim, ajuda a identificar os principais componentes da rede UMIC-Mesh. Como exposto na figura, um servidor central, o *meshserver*, está integrado no testbed. O serviço mais importante do *meshserver* é fornecer um sistema operativo (SO) para todos os nós através da rede. Assim, a configuração básica é a mesma em cada nó da testbed híbrido, podendo os nós até partilhar o mesmo *kernel*, incluindo módulos e drivers. Outro importante serviço fornecido pelo *meshserver* é o acesso à Internet. Este servidor possui também um *kernel* instalado que permite entre outras coisas acesso a mensagens do sistema e registo de mensagens SNMP, reunindo medições e resultados das redes mesh real e emulado. Este registo central permite também uma rápida detecção de qualquer problema na testbed.

Para interligar o ambiente virtualizado e a rede de testes real todos os *routers* de rede e máquinas virtuais são conectados por uma rede comum de fio, designada na figura 1 de “backbone virtual”. O termo “virtual” salienta o facto de que esta rede ser apenas usada para iniciar e configurar os nós ligados, bem como para o processamento de recolha de informação. Isso significa que, os clientes na rede de testes real não a podem usar para o seu tráfego de dados. Assim, os seus dados são transmitidos em um modo de multi-hop através das interfaces de rede sem fios.

O ambiente de teste é no departamento de Ciência da Computação da Universidade *RWTH Aachen* [18]. Os *routers* encontram-se instalados em dois edifícios de quatro andares que são interligados através de um piso térreo. Todos os *routers* mesh foram colocados em escritórios diferentes e em diferentes andares. Os *routers* estão em locais fixos, possuindo cada edifício vinte e um *routers* mesh. Dois *routers* são usados para interligar melhor os dois edifícios.

2.2 Roofnet - MIT

RoofNet consiste em cerca de cinquenta nós instalados em apartamentos em Cambridge, MA. Cada nó está na faixa de rádio de um subconjunto de outros nós, e pode se comunicar com o resto de nós através de encaminhamento multi-hop. Encontram-se distribuídos ao longo de dois quilómetros (ver Figura 2 [19]). Cada nó é baseado num PC a

Testbeds ou Redes de Teste

correr Linux, uma NIC IEEE 802.11b e uma antena omnidireccional. Os Três nós no canto inferior direito têm antenas Yagi [20] no topo dos edifícios de dez andares do MIT e agem como gateways para a rede com fio do campus do MIT. A rede sem fios é utilizada apenas para comunicação entre os nós, não como pontos de acesso 802.11. Cada utilizador conecta-se à rede ligando um cabo na porta Ethernet do nó local.



Figura 2 – Mapa da rede Roofnet

Um dos objectivos principais desta rede é fornecer acesso à rede do campus e à Internet numa forma barata, através da comunicação por saltos entre os vários nós até aos *gateways* da universidade.

2.3 ORBIT

A rede experimental Orbit é desenvolvida e controlada pela WINLAB [21], Rutgers University [22], é composta por quatrocentos nós, dispostos numa malha de duas dimensões. Esta rede foi criada com o objectivo de proporcionar reprodutibilidade experimental, permitindo a avaliação de protocolos e aplicações em ambientes reais. A rede Orbit possui também um emulador que funciona como primeira base de experimentação, uma vez validados os testes nesta plataforma emuladora, os utilizadores podem migrar as suas experiências para a rede de testes real.

É este projecto que dá origem à plataforma de gestão e controlo OMF e à biblioteca de medidas OML, que foram depois melhoradas tornando possível a sua integração noutras redes de testes. Estas ferramentas surgiram numa tentativa de dar resposta à falta de ferramentas e metodologias que forneçam descrições completas de experiências, incluindo recursos utilizados e medições a efectuar, com o objectivo de aumentar o rigor científico na área das redes.

A Figura 3 [23] demonstra o processo de experimentação na rede Orbit. O utilizador fornece a descrição da experiência e os resultados a recolher. Essa descrição permite a configuração automática dos recursos da rede necessários e os valores a medir. No final da experiência os resultados obtidos são armazenados e disponibilizados ao utilizador.

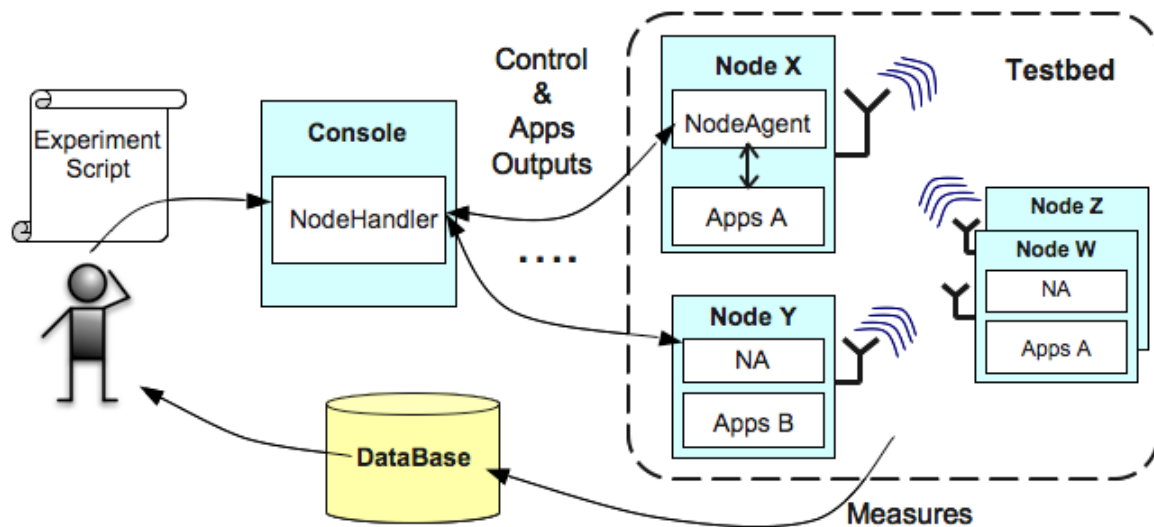


Figura 3 – Execução de uma experiência na ORBIT

2.4 AMazING

É nesta rede de testes que irá incidir esta dissertação. Esta rede de testes foi criada com o objectivo de testar as redes da nova geração, proporcionando um ambiente que permita uma boa repetibilidade e adaptação a diferentes experiências.

O local escolhido foi o terraço do Instituto de Telecomunicações (IT) [24] de Aveiro, uma vez que se pretendia num ambiente de reduzida interferência electromagnética e de fácil acesso. A AMazING [25] é formada por 24 nós colocados no terraço de acordo com a disposição na Figura 4 [26]. Estes encontram-se ligados a um servidor central por uma rede de cabos ethernet, cujo objectivo é configurar e gerir os nós e recolher as estatísticas pretendidas pelas experiências. Num futuro próximo, será acrescentado um nó móvel com uma velocidade alta ($> 60\text{km/h}$) e pretende-se integrar experiências com NS3.

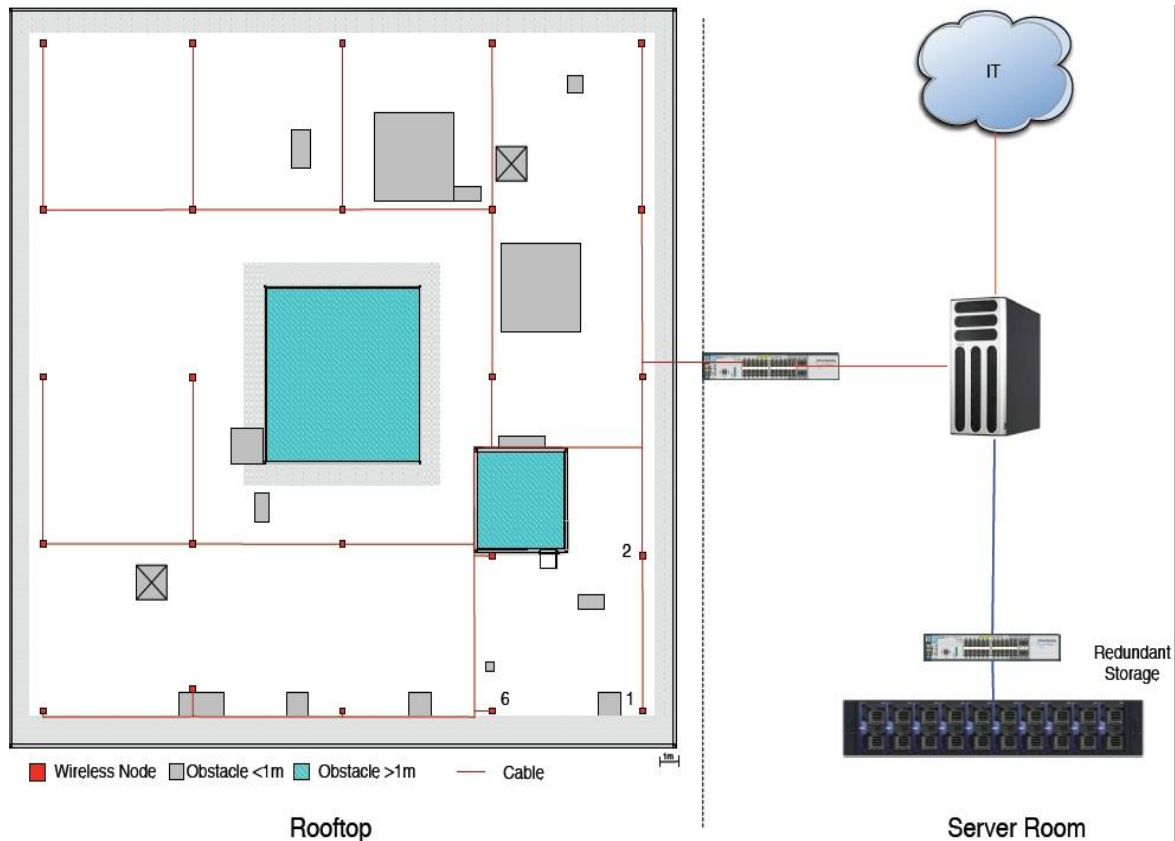


Figura 4 – Rede experimental AMazING

Os equipamentos encontram-se expostos às condições climáticas da costa sudoeste da europa, o que implica dias de sol frequentes e humidade relativas que podem chegar aos 85%, por isso encontram-se protegidos por uma caixa de polycarbonato. Como o coeficiente de transferência de calor desta é baixo e não é suficiente ($\sim 0.21 \text{ W}/(\text{m}^2\text{k})$) para o calor produzido pelos equipamentos e como a temperatura em dias de Verão pode chegar aos 40°C , estas caixas possuem uma ventoinha e duas aberturas no topo [27]. De forma a reduzir o risco de danos de equipamentos devia à condensação, as placas principais encontram-se no topo da caixa em posição invertida.

Esta rede experimental recorre à plataforma OMF e a biblioteca OML para as tarefas de gestão, controlo da rede e recolha de medidas.

É do âmbito desta dissertação, como já foi referido, elaborar um sistema que monitorize estas condições adversas a que se encontram expostos estes equipamentos e que actue, desligando a energia, caso se verifique potenciais riscos para os equipamentos. Para

Testbeds ou Redes de Teste

controlar o fornecimento de energia, a rede AMazING possui um *relay-panel* [28] que é controlado por uma fonera [29].

No próximo capítulo irá ser apresentado uma análise sobre as tecnologias utilizadas na monitorização de equipamentos.

3 Tecnologias utilizadas na Monitorização dos equipamentos

Neste capítulo abordar-se-á o estado da arte das tecnologias relacionadas com a monitorização de equipamentos. Irá ser abordada duas vertentes, nomeadamente o estudo de alguns dos protocolos existentes para a comunicação entre dispositivos e o estudo dos sensores existentes para as funções pretendidas nesta dissertação.

3.1 Protocolos de comunicação

A transmissão de dados de um dispositivo para outro ocorre utilizando meios de transmissão, incluindo, entre outros, o cabo coaxial, rede sem fios ou a fibra óptica. Uma mensagem a transmitir representa a unidade básica de uma rede de comunicações, uma mensagem pode ser constituída por uma ou mais células, *frames* ou pacotes que são as unidades elementares de uma rede de comunicações. Das tecnologias utilizadas para comunicar entre dispositivos destacam-se neste capítulo a Ethernet [30], o CAN [31], o RS-232 [32] e o I²C [33].

3.1.1 Ethernet

A Ethernet é uma norma de rede LAN originalmente desenvolvida pela Xerox [34], à qual, posteriormente se juntaram a Digital Equipment Corporation (DEC) [35] e a Intel Corporation [36]. A Ethernet tem as suas raízes numa rede Packet Radio Network, chamada Aloha [37], que foi desenvolvida pela Universidade do Havai com o objectivo de suportar a comunicação entre computadores nas Ilhas Havaianas. O problema fundamental com que a Ethernet se deparou foi a forma de mediar o acesso de uma forma justa e

eficiente ao meio utilizado para efectuar a transmissão. A ideia fulcral é um algoritmo que controla quando cada nó pode transmitir.

A Ethernet utiliza o protocolo IEEE 802.3 [30], também conhecido como Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD). No CSMA/CD, as estações transmitem e recebem no mesmo canal, antes de uma estação transmitir, esta deve escutar o meio para verificar que nenhuma outra estação já não o está a utilizar, se nenhuma outra estação está a transmitir, então esta pode começar a fazê-lo. Com este método o número de colisões é minimizado, podem, no entanto ocorrer colisões porque as estações podem estar a uma distância considerável umas das outras. Para reduzir a possibilidade de uma segunda colisão, as estações individualmente geram um número aleatório que determina quanto tempo a estação deve esperar antes de reenviar os dados. Actualmente estão definidas três taxas de transmissão para operar em fibra óptica e cabo de pares entrelaçados (twisted-pair):

- 10 Mbps – 10BASE-T Ethernet
- 100 Mbps – Fast Ethernet
- 1000 Mbps – Gigabit Ethernet

Para interligar dois dispositivos utiliza-se ou um cabo cruzado ou um directo depende do tipo de dispositivos que se pretende ligar (ver figura 5 [38]). A norma 10BASE-T e Fast Ethernet usam um par de fios para transmissão em cada direcção. Por convenção, um fio do par é designado "+" e outro "-".

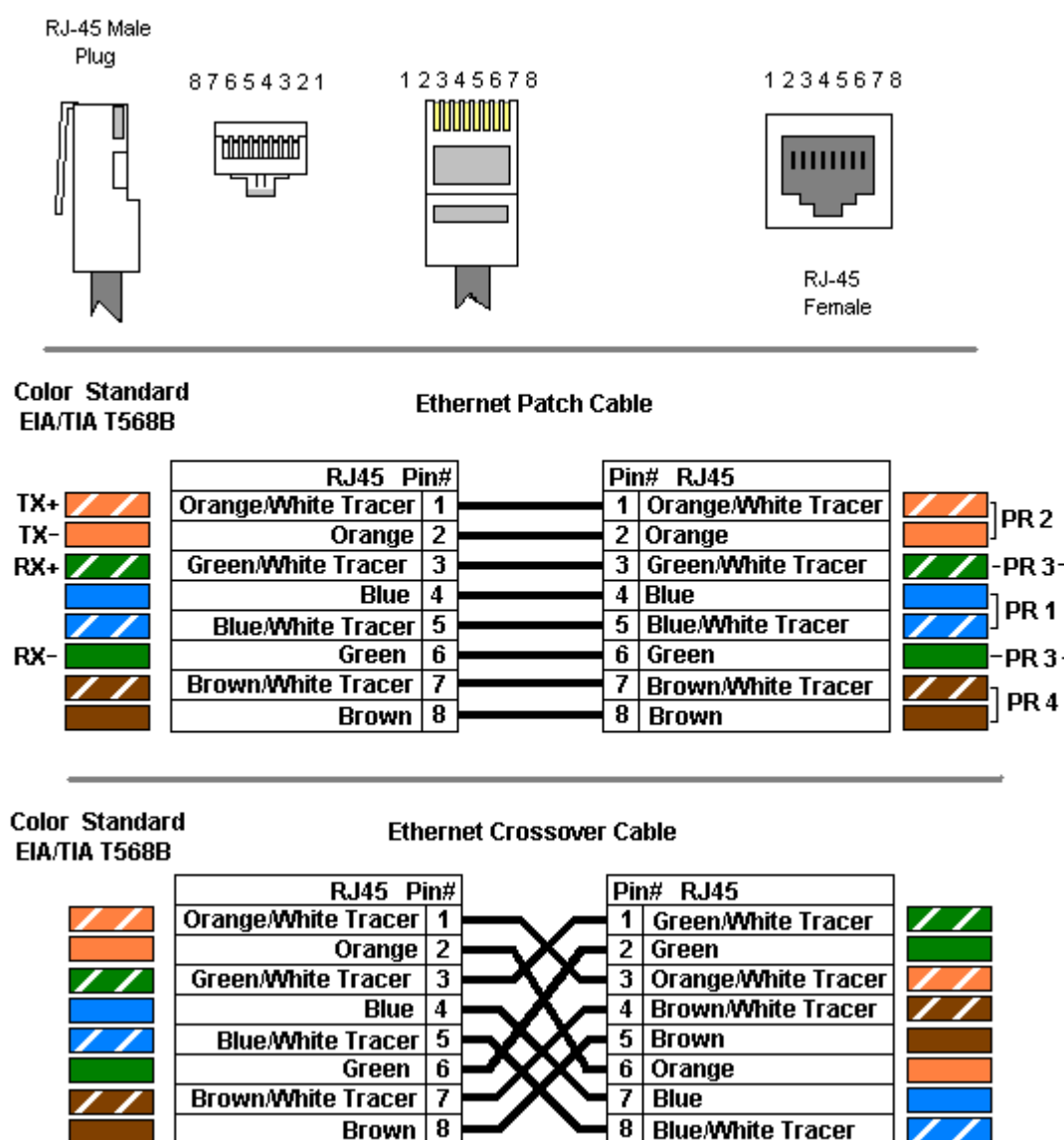


Figura 5 – Cabo Ethernet RJ45

3.1.2 CAN

O protocolo CAN - Controller Area Network é um protocolo de comunicação digital série que suporta de uma forma muito eficiente o controlo de sistemas distribuídos de tempo-real com um nível muito elevado de segurança e fiabilidade.

Foi desenvolvido, em finais dos anos 80, por uma das maiores sociedades industriais privadas a nível mundial, a BOSCH [39], como um barramento multi-master,

do tipo broadcast com um ritmo de transmissão máximo de 1Mbps, com especial propósito de obter um protocolo que permitisse uma rápida troca de dados entre controladores electrónicos em veículos motorizados.

Ao contrário dos protocolos de comunicação tradicionais, como o USB [40] ou Ethernet, CAN não tem a capacidade de enviar grandes blocos de dados ponto-a-ponto, de um nó A para um nó B. Numa rede CAN são trocadas mensagens curtas com informação como temperatura ou as RPM (Rotações Por Minuto) do motor de um automóvel, para toda a rede, ou seja, todos os nós do barramento recebem todas as transmissões efectuadas. Não existe, assim, uma forma de enviar uma mensagem apenas para um nó específico. Contudo, o controlador de rede CAN dispõe de um filtro local que lhe permite filtrar apenas as mensagens que a ele são destinadas.

Usando apenas um par de condutores entrançados como linha de dados série, este protocolo possui mecanismos que permitem o seu funcionamento em ambientes electricamente ruidosos, é de fácil instalação e modificação e possui ainda mecanismos de detecção automática e correcção de erros, CSMA/BA, isto é, cada nó na rede tem que monitorizar o barramento e detectar um período de não actividade, antes de tentar transmitir (CS – Carrier Sense). Por outro lado, quando é detectado um período de não actividade no barramento, todos os nós têm igual oportunidade para transmitir (MA – Multiple Access). Se dois nós começarem a transmitir ao mesmo tempo, cada um deles irá detectar a colisão e tomar a posição adequada, avançar ou abortar a sua transmissão, dependendo do seu nível de prioridade, definido bit a bit (BA – Bitwise Arbitration).

O barramento usa o código NRZ (Non-Return to Zero) [41] com bit-stuffing. Se um dos nós ligados ao barramento estiver a forçar um bit dominante (“0”) na linha, toda a linha estará a zero, independentemente dos nós que estiverem a tentar transmitir um bit recessivo (“1”). O uso de bit-stuffing deve-se ao facto da necessidade de manter a sincronização de relógio, isto é, quando um emissor detecta 5 bits consecutivos de igual polaridade, cinco bits a “1” ou cinco bits a “0”, ele insere automaticamente um bit complementar na mensagem a ser transmitida para forçar transições de nível no barramento. Estes stuff bits são também automaticamente removidos pelo receptor.

3.1.2.1 - Mensagens CAN

CAN usa mensagens curtas que não dispõem de um endereço explícito, no entanto pode afirmar-se que as mensagens são endereçadas ao conteúdo, isto é, o seu conteúdo define, implicitamente, o seu endereço através de um identificador (ID) único.

Cada mensagem pode transmitir de 0 a 8 bytes de informação (payload). Contudo, é possível transmitir dados de maior tamanho efectuando a sua segmentação por várias mensagens.

A rede CAN pode ser configurada para funcionar com dois tipos de mensagens diferentes, o formato base ou *standard* (CAN 2.0A) ou o formato estendido (extended format – CAN 2.0B). A diferença entre estes dois tipos está no ID da mensagem. A mensagem *standard* possui um ID de 11 bits e a mensagem “extended” possui um identificador de 29 bits, sendo os 18 bits como uma extensão do identificador standard. Esta distinção é feita usando um bit, o bit IDE, da mensagem CAN, que é enviado como dominante (“0”) no caso de uma mensagem *standard*, de identificador de 11 bits, e como recessivo (“1”), no caso de uma mensagem de identificador de 29 bits.

Os controladores CAN que suportam CAN 2.0B estão também habilitados a enviar e receber mensagens no formato CAN 2.0A. Todas as mensagens começam com um bit que indica o início da transmissão de uma mensagem, o “start-of-frame” bit.

O protocolo disponibiliza quatro tipos de mensagens (frames) que são a Data Frame, Remote Frame, Error Frame e Overload Frame. A Data Frame é a mensagem mais comum na comunicação CAN. É a mensagem que transporta os dados, na figura 6 [43] encontra-se a sua estrutura.

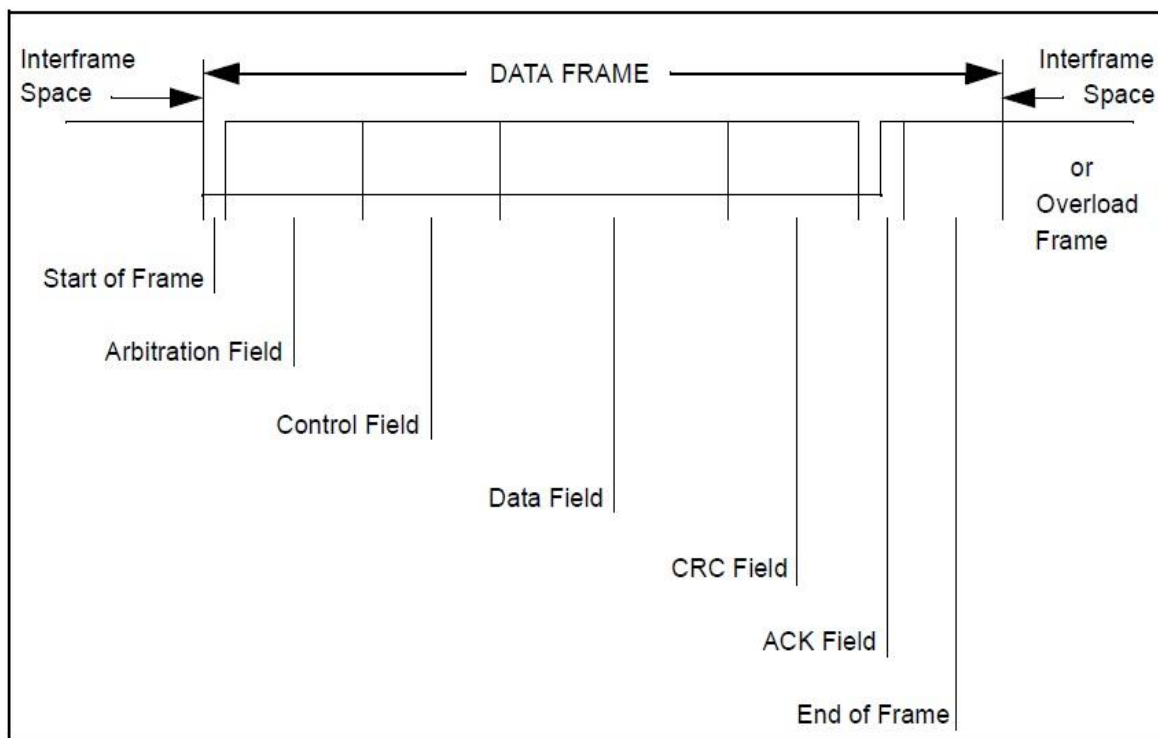


Figura 6 – Mensagem CAN Data Frame

A Remote Frame é semelhante à Data Frame, tem como objectivo permitir solicitar a outro nó a transmissão de uma mensagem.

Uma mensagem de erro, Error Frame, é uma mensagem que viola as regras de construção de Frames CAN. Este tipo de mensagem é enviado por um nó quando detecta erros numa mensagem recebida, fazendo com que os outros nós enviem também mensagens de erro. O transmissor que enviou a mensagem recebida com erro tenta então enviá-la de novo.

Overload Frame é semelhante à “Error Frame” e é enviada por um nó quando este se encontra demasiado ocupado e não pode receber uma mensagem.

3.1.3 RS232

O protocolo de comunicação RS-232 é simples, universal, sendo relativamente fácil a sua compreensão. Uma porta RS-232 já foi uma característica padrão de um computador pessoal para ligações com modems, impressoras, ratos, armazenamento de dados e outros dispositivos periféricos. No entanto, a velocidade de transmissão limitada, o facto de necessitar de elevadas tensões e grandes conectores padrão motivou o desenvolvimento do barramento serial universal (USB). O USB levou ao desuso do RS-232, removendo-o da maioria dos seus papéis de interface periférica embora ainda seja usado em alguns dispositivos, especialmente em máquinas industriais ou instrumentos científicos.

O protocolo RS232 nasceu no início dos anos 1960, quando um comité, hoje conhecido como a *Electronic Industries Association* [45], desenvolveu um padrão de interface comum para equipamentos de comunicação de dados. Naquela época, a comunicações de dados foi pensada para permitir a troca de dados digitais entre um computador principal localizado centralmente e um terminal de computador remoto, ou possivelmente entre dois terminais sem envolver um computador. Estes dispositivos eram ligados por linhas de telefone e, conseqüentemente, exigiu um modem em cada extremidade para a tradução do sinal. Concluiu-se que embora simples em conceito, as muitas possibilidades para ocorrer um erro de dados durante a transmissão de dados através de um canal analógico requeriam um modelo relativamente complexo. Assim foi especificado:

- as características do sinal elétrico, tais como níveis de tensão, tempo e o *slew-rate* do sinal, o nível de tensão a suportar, comportamento em caso de curto-circuito e capacidade de carga máxima;
- as características de interface mecânica, conectores que se podiam ligar e identificação dos pinos;
- as funções de cada circuito na interface do conector.

No entanto não foram definidos elementos como:

- codificação de caracteres (por exemplo, ASCII [46], código de Baudot [47] ou EBCDIC [48]);

Tecnologias utilizadas na Monitorização dos equipamentos

- o enquadramento de caracteres no fluxo de dados (bits por caractere, start / stop bits, paridade)
- protocolos para detecção de erros ou algoritmos para compressão de dados;
- taxas de bits para a transmissão, apesar da norma referir que se destina a taxas de bits inferior a 20 mil bits por segundo. Muitos dispositivos modernos suportam velocidades de 115.200 bit/s e superiores;
- fornecimento de energia para dispositivos externos.

Este protocolo padrão permitiu garantir uma comunicação viável e a interligação de equipamentos produzidos por diferentes fabricantes, promovendo assim os benefícios da produção em massa e da concorrência. Ao longo destes mais de 40 anos, o RS232 foi desenvolvido, tendo a Electronic Industries Association publicado três modificações, sendo o mais recente padrão da EIA232F [32] introduzida em 1997. Além de mudar o nome de RS232 para EIA232, algumas linhas de sinal foram renomeadas e várias outras novas foram definidas, incluindo um condutor de blindagem.

No protocolo RS-232, os dados do utilizador são enviados como uma série temporal de bits, sendo suportado transmissões síncronas e assíncronas. Cada circuito de controlo de dados só funciona em uma direcção, ou seja, transmitir dados e receber dados são circuitos separados, o que permite à interface operar em um modo full-duplex, suportando o fluxo de dados simultâneos em ambas as direcções.

O uso da lógica negativa no RS232 é o inverso do que a encontrada na maioria dos modernos projectos de circuitos digitais. O protocolo define os níveis de tensão que correspondem a uma lógica bipolar em que um sinal de tensão negativo representa a lógica '1' (the marking condition), e tensão positiva representa a lógica '0' (the spacing condition). Sinais válidos estão compreendidos entre, mais ou menos, 3 a 15 volts, a faixa de ± 3 V próximo de zero volts não é um nível RS-232 válido (ver Figura 7 [49]). A norma especifica uma tensão de circuito aberto máximo de 25 volts, dependendo da potência disponíveis dentro de cada dispositivo os níveis de sinal de usados podem ser ± 5 V, ± 10 V, ± 12 V, e de ± 15 V.

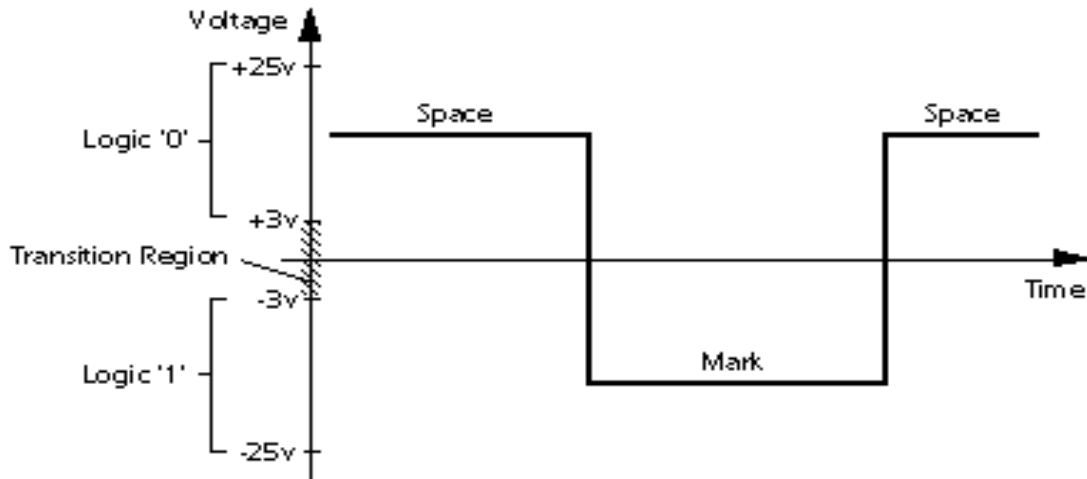


Figura 7 – Níveis lógicos no RS232

A norma recomenda que para velocidades até 256kbps, o comprimento do cabo não deverá ser superior a 15m. Actualmente, como a qualidade dos cabos tem aumentado consideravelmente a distância máxima aumentou para os 120m. No entanto deverá ter-se em conta que a velocidade de transmissão dos dados bem como o ruído electromagnético também afectam a distância máxima.

Ambas as extremidades do circuito RS-232 dependem do pino terra ser zero volts, poderá ocorrer problemas ao conectar dispositivos e computadores onde a tensão entre o pino terra numa das extremidades, e do pino terra do outro lado não é zero, se os dois dispositivos estão longe o suficiente ou em sistemas de alimentação separada, as ligações à terra locais em cada extremidade do cabo terão diferentes tensões, esta diferença irá reduzir a margem de ruído dos sinais.

Porque os níveis de tensão são superiores aos níveis lógicos tipicamente usado por circuitos integrados, circuitos especiais de “drive” são necessários para traduzir níveis lógicos. Estes circuitos também protegem os circuitos internos do aparelho contra curtos-circuitos ou transações que podem aparecer na interface RS-232 e ajudam a fornecer corrente suficiente para cumprir os requisitos de taxa de variação para a transmissão de dados. Protocolos como USB, RS-422 [50] e PROFIBUS [51] podem tolerar diferenças maiores de tensão entre as terras maiores pois usam transmissão diferencial.

3.1.4 I²C

O protocolo I²C, Inter-IC, é um barramento série de baixa / média velocidade, foi desenvolvido pela Philips Semiconductors [52] na década de 80 (primeira versão em 1982), sendo o barramento originalmente concebido para ligar um pequeno número de dispositivos num único cartão. Desenvolveram assim um *bus* bidireccional de dois fios (2-wire) simples, para controlar de forma eficiente as comunicações entre circuitos integrados (Inter-IC).

Destacam-se as seguintes características do bus I²C:

- Apenas duas linhas de bus são necessárias, uma linha de dados série (SDA) e uma linha de relógio, *clock*, série (SCL).
- Cada dispositivo conectado ao barramento é endereçável por *software* por um endereço único. Comunicações simples entre master / slave existem frequentemente, os masters podem funcionar como masters transmissores ou como masters receptores.
- É um multi-master *bus* verdadeiro, que possui detecção de colisão e arbitragem para evitar a corrupção de dados caso dois ou mais “masters” iniciem, ao mesmo tempo, a transferência de dados.
- Transferências bidireccionais de dados série de 8 bits, podem ser efectuadas até 100 kbit/s no modo Padrão, até 400 kbit /s no modo Fast-mode, até 1 Mbit /s no modo Fast-mode Plus, ou até 3,4 Mbit/s no modo de High-speed.
- Filtragem *On-chip* permite rejeitar picos na linha de dados do *bus* ajudando a preservar a integridade dos dados.
- O número de circuitos integrados que podem ser conectados ao mesmo barramento é limitado apenas pela capacidade máxima do *bus* (400pF). De notar que a capacidade afecta a velocidade de transferência, uma vez que quanto maior for a capacidade maior será a corrente que é necessário fornecer para carregar esse condensador para efectuar a transição do nível lógico 0 para o nível lógico 1, ou maior será a corrente que é necessário retirar ao condensador para a transição inversa. Mais capacidade pode ser permitida sob certas condições, por exemplo, repetidores *bus* I²C e *hubs* permitem o aumento da carga máxima capacitiva no bus sem degradar o desempenho AC (tempos de subida e descida) dos dados e sinais de relógio.

- Distância de comunicação considerável que pode ser estendida para distâncias mais longas com recurso a um *I²C Bus Extender* [53].
- Os circuitos integrados podem ser adicionados ou removidos de um sistema sem afectar nenhum dos outros circuitos nem o próprio bus.

Na transmissão I2C apenas são usados os dois fios, SDA e SCL, para transportar informações entre os dispositivos conectados ao barramento. Ambos SDA e SCL são linhas bidirecionais, conectadas a uma tensão de alimentação positiva através de uma fonte de corrente ou uma resistência de pull-up. Quando o *bus* está livre, ambas as linhas encontram-se no nível Alto. Devido à grande variedade de dispositivos de tecnologia diferente (CMOS, NMOS, bipolar) que pode ser conectado ao barramento I2C, os níveis da lógica '0' (LOW) e '1' (HIGH) não são fixos e dependem do nível associado de V_{DD} . Níveis de referência de entrada são definidos como 30% e 70% de V_{DD} ; V_{IL} é $0.3V_{DD}$ e V_{IH} é $0.7V_{DD}$. Os dados na linha SDA deve estar estáveis durante o período Alto do sinal relógio. Para os dados serem considerados válidos o nível Alto ou o estado Baixo da linha de dados só pode mudar quando o sinal de relógio na linha SCL é Baixo. Um pulso de *clock* é gerado para cada bit de dados transferidos.

Todas as transferências iniciam-se com a condição Start (S) e podem ser terminadas por um Stop (P). A condição Start define-se como uma transição na linha SDA do nível Alto para o Baixo transição, enquanto SCL está no nível Alto. Uma transição do nível Baixo para a nível Alto na linha SDA, enquanto SCL está Alto define uma STOP condição. START e STOP são sempre condições geradas pelo master. O *bus* considera-se que está ocupado depois da condição START. O *bus* é considerado livre de novo um certo tempo após a condição de STOP. O *bus* permanece ocupado se a condição de Start for repetida (Sr) em vez de uma condição de STOP.

Cada mensagem de dados a colocar na linha SDA deve ser de 8 bits, não existindo qualquer restrição quanto ao número de bytes que podem ser enviados por transferência. Os dados são transferidos com o bit mais significativo (MSB) em primeiro lugar. Cada byte tem de ser seguido por um Acknowledge bit.

O Acknowledge bit permite ao receptor do sinal do transmissor, assinalar que o byte foi recebido com sucesso e outro byte pode ser enviado. Quando a linha SDA permanece Alta durante este nono pulso do relógio, esta condição é definida como o não

Acknowledge. O *master* pode neste caso gerar uma condição STOP para interromper a transferência, ou repetir a condição de Start para iniciar uma nova transferência.

Há cinco condições que levam à geração de um NACK:

1. Nenhum receptor presente no *bus* possui o endereço transmitido por isso não há nenhum dispositivo para responder com um Acknowledge.
2. O receptor é incapaz de receber ou transmitir porque se encontra a executar alguma função em tempo real e não está pronto para iniciar a comunicação com o master.
3. Durante a transferência, o receptor recebeu dados ou comandos que ele não entende.
4. Durante a transferência, o receptor não poder receber mais bytes de dados.
5. Um *master-receptor* precisa sinalizar o fim da transferência para o transmissor de dados slave.

O esquema da transferência de dados pode ser consultado na figura 8 [54].

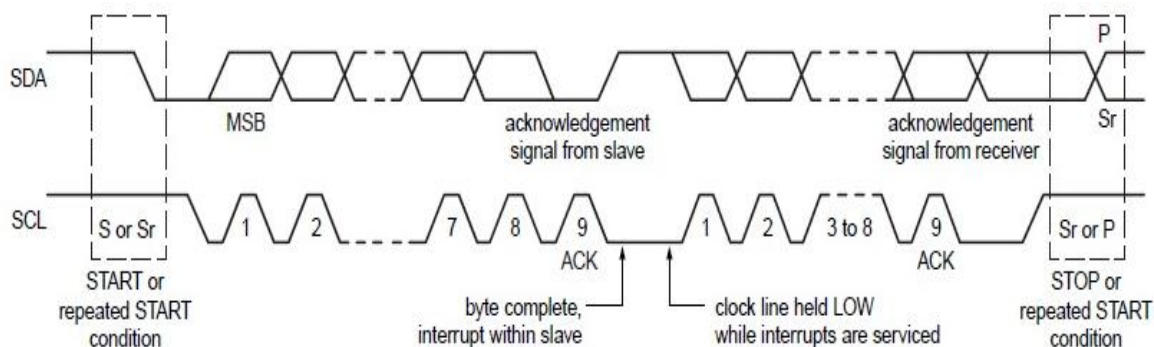


Figura 8 – Transferência de dados no I2C

Cada dispositivo é reconhecido por um único endereço e pode funcionar como um transmissor ou receptor, dependendo da função do dispositivo. O endereço pode ser de 7 bits ou de 10 bits, sendo mais comum o endereço de 7bits, dispositivos com endereços de 7 bits e 10 bits podem ser conectados ao mesmo barramento I²C. Na figura 9 [54] encontra-se esquematicamente uma transferência completa de dados

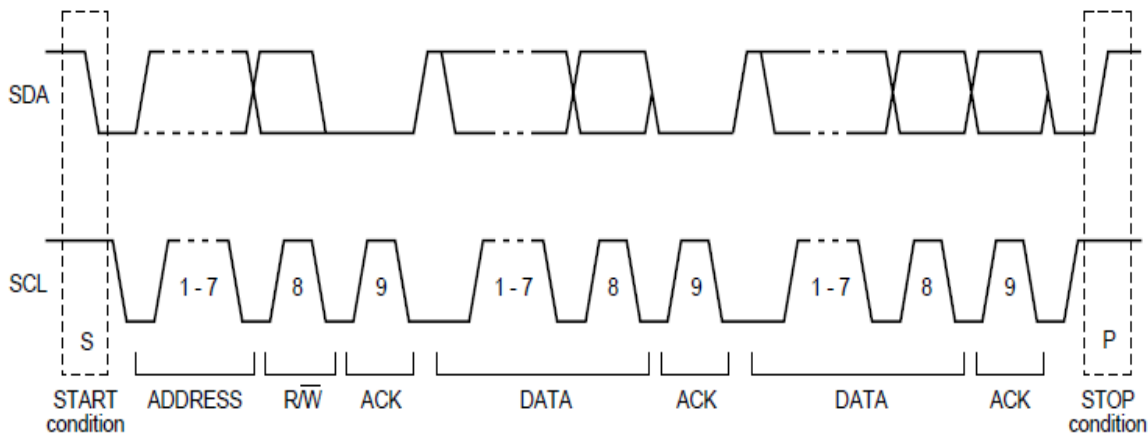


Figura 9 – Esquema de uma transferência de dados no I2C

Além de transmissores ou receptores, os dispositivos podem também ser considerados como master ou slave quando realizarem transferências de dados. Um *master* é o dispositivo que inicia uma transferência de um conjunto de dados no *bus* e gera os sinais de relógio para permitir que essa transferência. Durante esse tempo, qualquer dispositivo endereçado é considerado um *slave*.

A geração dos sinais de relógio no barramento I²C é sempre da responsabilidade de dispositivos master, cada master gera os seus próprios sinais de relógio para transferir dados no *bus*. O sinal relógio de um *master* no barramento só pode ser alterado quando são esticados, *stretching*, por um dispositivo slave mais lento, mantendo a linha de clock em baixo ou por outro mestre, quando ocorre a arbitragem.

O bus I²C é um *multi-master*, isso significa que pode ser ligado ao *bus* mais de um dispositivo capaz de o controlar. A possibilidade de ligar mais do que um microcontrolador no barramento I²C, significa que, mais do que um *master* poderá tentar iniciar uma transferência de dados ao mesmo tempo. Para evitar o caos que poderiam advir de um evento como esse, um procedimento de arbitragem foi desenvolvido. Este procedimento baseia-se na conexão wired-AND [55] de todas as interfaces I²C para o barramento I²C. Se dois ou mais mestres tentarem colocar informações no *bus*, o primeiro a colocar um 'um', quando o outro colocar um 'zero' vai perder a arbitragem. Os sinais de relógio durante a arbitragem são uma combinação sincronizada dos relógios gerados pelos *masters* usando a conexão wired-AND com a linha SCL. De salientar que nenhuma informação é perdida durante o processo de arbitragem. Um *master* que perde a arbitragem pode gerar pulsos de

relógio até o final do byte no qual ele perde a arbitragem, deve reiniciar a sua operação assim que o *bus* se encontrar livre.

3.2 Sensores

Os sensores encontram-se presentes em diversos sítios, existindo uma enorme gama de aplicações e variedade dentro da mesma [56]. O mercado destes é extenso e em crescimento contínuo [57], neste capítulo abordar-se-à alguns dos tipos existentes para as aplicações que se pretende desenvolver nesta dissertação.

3.2.1 Metrologia

O sistema de medida oficial adoptado na maioria dos países da União Europeia [58] é o Sistema Internacional (S.I.), este sistema define um conjunto de unidades e estabelece o seu uso e respectivos padrões. Este sistema de medidas resulta de um processo iniciado na Europa com o objectivo de uniformizar as medidas e é gerido pelo *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM) [59].

O sistema S.I. é constituído por dois tipos de unidades [60]:

- as unidades de base;
- as unidades derivadas.

A unidade de base é definida como uma grandeza que, por convenção, é aceite como sendo independente das outras. As unidades derivadas são definidas como uma função das unidades bases. As unidades S.I. destas duas classes formam um conjunto coerente de unidades, isto é para se converterem as grandezas não é preciso recorrer a factor de conversão (com a excepção do 1).

As unidades S.I. base são o Comprimento (m), a Massa (kg), o Tempo (s), a Intensidade de Corrente (A), a Temperatura (K), a Quantidade de Matéria (mol) e a Intensidade Luminosa (cd).

Nesta dissertação serão medidas duas destas unidades padrão: Intensidade de Corrente e a Temperatura.

3.2.1.1- Medição

O BIPM define um vocabulário internacional de metrologia, sendo alguns desses conceitos serão usados no decorrer desta dissertação.

Uma medição pode ser estática ou dinâmica. Considera-se estática quando o valor não varia desta com o tempo durante a medição. A medição dinâmica tem por objectivo a determinação do valor instantâneo da grandeza ou a sua variação com o tempo. Considera-se assim do ponto de vista do microcontrolador que a medição da temperatura é uma medição estática e que a medição da corrente eléctrica será apenas uma aproximação do valor dinâmico uma vez que o processo de medição não é instantâneo.

A gama de medição define o intervalo de valores para os quais o erro do instrumento de medida esta dentro de determinados valores, este será um critério usado na escolha de alguns componentes.

Destaca-se também o conceito de exactidão e repetibilidade. Exactidão da medição é a diferença entre o resultado da medição e o valor verdadeiro da grandeza medida. Repetibilidade ou precisão mede a dispersão entre os diferentes valores obtidos em medições sucessivas. Considera-se dois tipos de erros associados a estes conceitos: o erro determinista que é normalmente um erro sistemático e presente em todas as medições e afecta a exactidão; e o erro aleatório que é uma componente casual da medição e que está relacionada com a repetibilidade. De forma a melhorar a repetibilidade e tentar minimizar o erro aleatório, efectuar-se-á várias medições para a mesma grandeza seguidas e retirado o valor final calculando a média destas.

3.2.2 Medição de Temperatura

Os sensores de temperatura são dos mais comuns e os mais comercializados, possuindo inúmeros formatos e tipos de aplicações quer ao nível da gama a que se destinam quer ao nível da exactidão dos mesmos.

Em vez da unidade S.I referida anteriormente, alguns sensores de temperatura usam a unidade Celsius (°C) e a escala centígrada. Esta divisão de temperaturas foi proposta por André Celsius [61] em 1742, possui dois pontos de referência e entre estes dois pontos é criada uma escala com 100 graus. Ao grau 0 corresponde a temperatura do gelo fundente e aos 100 graus, a temperatura da água em ebulição. A conversão desta escala para unidades S.I usa a seguinte formula:

$$K = C + 273.15$$

3.2.2.1- Termopares

O termopar é um dos mais comuns sensores de temperatura, é um sensor muito simples bastam dois fios de metais diferentes em contacto [62]. Quando uma das extremidades é aquecida, gera-se uma corrente eléctrica. Quando o circuito é aberto na extremidade não aquecida, surge uma força electromotriz. Esta força depende dos metais utilizados e da temperatura, trocando os metais ou arrefecendo-os inverte-se esta força. Este efeito foi descoberto por Thomas Johann Seebeck [66].

Diferentes combinações de metais apresentam diferentes sensibilidades, gamas de medição e linearidade. O coeficiente de Seebeck é utilizado para caracterizar esta variação, fornecendo a variação da tensão quando a temperatura muda um grau.

Para medir a tensão basta usar um voltímetro note-se no entanto que qualquer junção de dois metais constitui um termopar logo ao ligar o termopar ao voltímetro cria-se duas novas junções, a interna do voltímetro cobre com cobre (Cu-Cu) que se pode ignorar e um novo termopar, normalmente denominada por junção fria. Usando as leis empíricas dos termopares é possível compensar esta junção fria. Essa compensação pode ser efectuada em *hardware* (ver figura 10 [67]) ou por *software*.

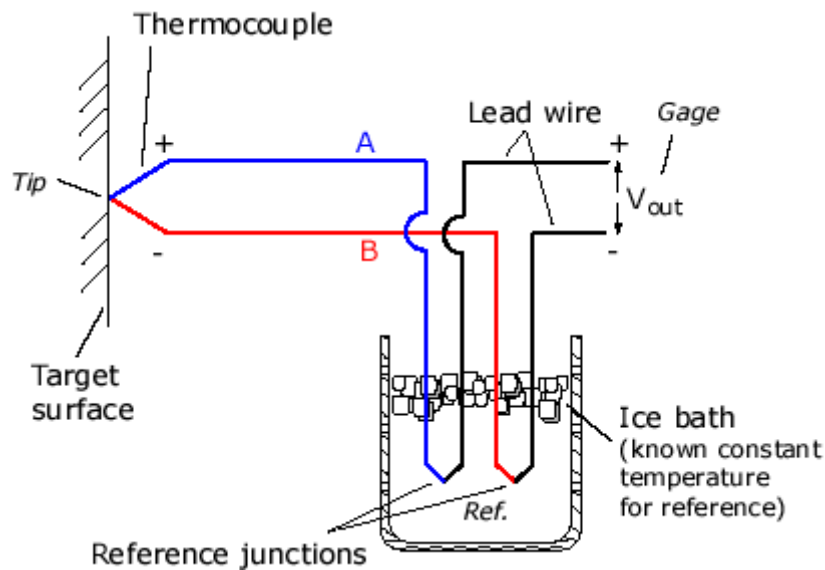


Figura 10 – Compensação da junção fria nos termopares

Para além da compensação estes sensores possuem a desvantagem de não serem lineares, terem uma baixa sensibilidade e a tensão gerada ser baixa.

Existe uma grande variedade de formas e gama de utilização no mercado dos termopares, na figura 11 [68] encontram-se alguns exemplos.



Figura 11 – Exemplos de termopares

3.2.2.2- Sensores de resistência

Os sensores de resistência usam o princípio da dependência da resistividade de um material condutor com a temperatura. Estes sensores são conhecidos pela sigla RTD, Resistance Temperature Detector (ver figura 12 [69]). Devido ao seu processo de fabrico são normalmente mais frágeis que os termopares e possuem custos elevados, além disso a variação da resistência com a temperatura não é linear. É possível recorrendo a métodos mais complexos melhorar a sua exactidão [56][62].

A prática mais simples para a leitura de uma RTD consiste em utilizar uma fonte de corrente com valor conhecido e medir a queda de tensão, no entanto isto apresenta uma desvantagem caso o sensor se encontre afastado pois à que ter em conta a resistência e consequente a queda de tensão dos fios condutores, para resolver este problema é comum utilizar-se a leitura a 3 ou 4 fios.

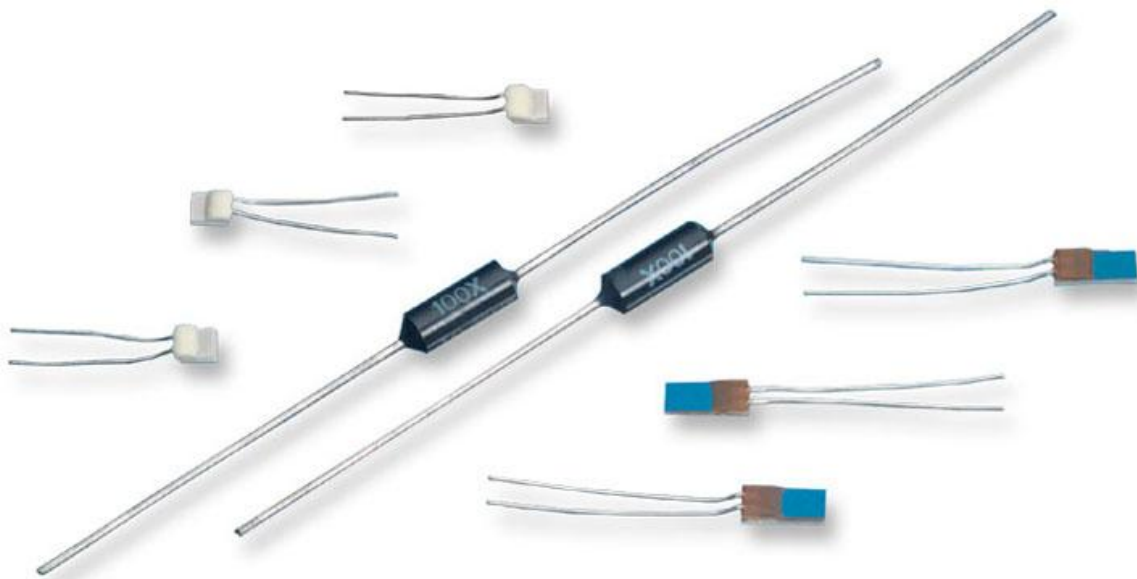


Figura 12 – Exemplos de RTD's

Existem outros cuidados a ter na utilização de uma RTD nomeadamente o dimensionamento da corrente utilizada, uma corrente baixa produz pequenas variações de tensões e torna mais significativo o efeito do ruído, no entanto uma corrente elevada

origina dissipação de energia na RTD por efeito de Joule, o que provoca o aquecimento do equipamento e consequentes erros de medição.

3.2.2.3- Termístor

Os termístores [56][62] são sensores de temperatura baseados em semicondutores. Tal como a RTD, são sensores cuja resistência entre os terminais é função da temperatura.

Dos termístores, o mais utilizado é o NTC, Negative Temperature Coefficient, cuja resistência diminui com a temperatura, são semicondutores feitos com óxidos metálicos, sendo os metais mais utilizados o manganésio, o cobalto, o ferro, o cobre e o titânio, recorrendo a um processo de tecnologia cerâmica para os fabricar (ver figura 13 [70]).



Figura 13 – Exemplos de NTC's

O NTC é o menos linear dos sensores referidos, a sua curva decai rapidamente na zona das temperaturas mais baixas, diminuindo o declive à medida que a temperatura aumenta, isto torna-o o sensor com maior sensibilidade em temperaturas baixas. Recorrendo a função logarítmica é possível calcular a temperatura com alguma exactidão.

3.2.2.4- Sensores de temperatura integrados

Estes sensores são mais complexos que os anteriormente apresentados e baseiam-se num circuito electrónico que se comporta como uma fonte de corrente ou como um regulador de tensão, cuja variação de corrente ou tensão é proporcional a variação da temperatura. Estes sensores apresentem uma boa linearidade, no entanto estão limitados às temperaturas a que pode operar um circuito integrado, geralmente entre os -50°C e os 150°C. A figura 14 foi retirada de uma marca de fabricantes [71] e demonstra os dois tipos de encapsulamento mais comuns.

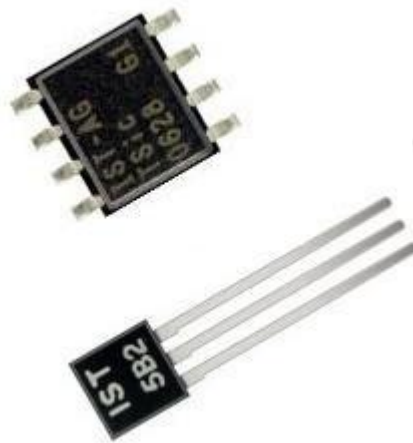


Figura 14 – Sensor de temperatura integrado

O princípio de funcionamento que gera a corrente ou tensão proporcional à temperatura nos circuitos baseados em semicondutores, baseia-se na utilização de um circuito denominado “célula de brokan” [72]. Num transístor percorrido por uma corrente de colector I_C , a tensão V_{BE} é dada por:

$$V_{BE} = \frac{k\Theta}{q} \ln\left(\frac{I_C}{I_S}\right)$$

Em que:

k constante de Boltzmann;

Θ temperatura em (kelving);

q carga do electrão;

I_S corrente que é função da geometria e da temperatura do transístor

Se essa corrente I_C for dividida por N transístores idênticos em paralelo (ou um transístor idêntico mas com uma área de junção N vezes maior), isto é, os colectores, bases e emissores se encontram interligados, a tensão V_N será:

$$V_N = \frac{k\phi}{q} \ln\left(\frac{I_C}{N I_S}\right)$$

A diferença entre V_{BE} e V_N é dada pela expressão:

$$\Delta V_{BE} = V_{BE} - V_N$$

$$= \frac{k\phi}{q} \ln(N)$$

ΔV_{BE} é proporcional a temperatura absoluta Θ .

Será este o método escolhido para medir a temperatura, pois é o mais linear de todos, a gama de funcionamento encontra-se dentro da necessária. Além destes o preço e a gama do sinal de saída são outros factores preponderantes nesta escolha.

3.2.3 Posição

Existem diferentes tipos de sensores de posição que podem ser utilizados para a função pretendida neste trabalho. Estes sensores podem ser encontrados em diferentes ambientes e com funções diversas.

3.2.3.1-Potenciómetro

O potenciómetro é um dispositivo simples, baseado na medição do valor de uma resistência variável ou na tensão de saída de um divisor potenciométrico. O mais comum destes é o linear, existem também potenciómetros de rotação que permitem medir deslocamentos angulares (figura 15 [73]).

A simplicidade destes e o facto de gerarem tensões analógicas são algumas das suas vantagens pois permitem serem inseridos facilmente em unidades de controlo, no entanto por ser construído com contactos mecânicos, os potenciómetros estão sujeitos a desgaste, o que com o tempo pode originar maus contactos e consequentes erros na leitura.



Figura 15 – Exemplo de um potenciómetro

3.2.3.2- Acelerómetros

Os acelerómetros (figura 16 [74]) destinam-se tal como o nome indica a medir acelerações, existem diversos tipos consoante a aplicação a que se destinam. Por norma a sua estrutura baseia-se numa massa inercial, ligada por um elo flexível ao sistema que se pretende medir a aceleração. Um dispositivo de medição de posição mede a diferença entre a posição inicial a posição em que se encontra.



Figura 16 – Exemplo de acelerómetros

Estes sensores seriam uma potencial solução para medir a posição dos equipamentos da rede de testes no entanto como os equipamentos se encontraram-se expostos a ventos fortes, que provocam vibrações, que poderiam ser suficientes para estes sensores indicarem falsos alarmes.

3.2.3.3- Tilt Switchs

O Tilt Switch ou interruptor de inclinação (ver figura 17 [75]), tem por finalidade permitir ou interromper o fluxo da corrente eléctrica num circuito dependendo da posição física do dispositivo ou alinhamento em relação à força da gravidade. O modo de construção e princípio de funcionamento assemelha-se ao das lâmpadas tradicionais, são constituídos por um ou mais conjuntos de contactos eléctricos num ambiente selado que pode conter ar, um gás inerte, ou vácuo, contudo em vez de um filamento fixo o contacto faz-se usando uma pequena porção de um líquido condutor, por norma de mercúrio devido as suas propriedades, ou por uma esfera. Quando o líquido usado é o mercúrio devido a toxicidade deste, o invólucro é metálico ou constituído por um material resistente. A gravidade actua como interruptor puxando a gota do líquido para o seu ponto mais baixo, quando o interruptor está inclinado na direcção adequada, o líquido conduz a corrente e mantém o circuito fechado. Inclinando o interruptor na direcção oposta, o líquido afasta-se desse conjunto de contactos, abrindo assim o circuito (ver figura 18 [74]).



Figura 17 – Tilt Switchs

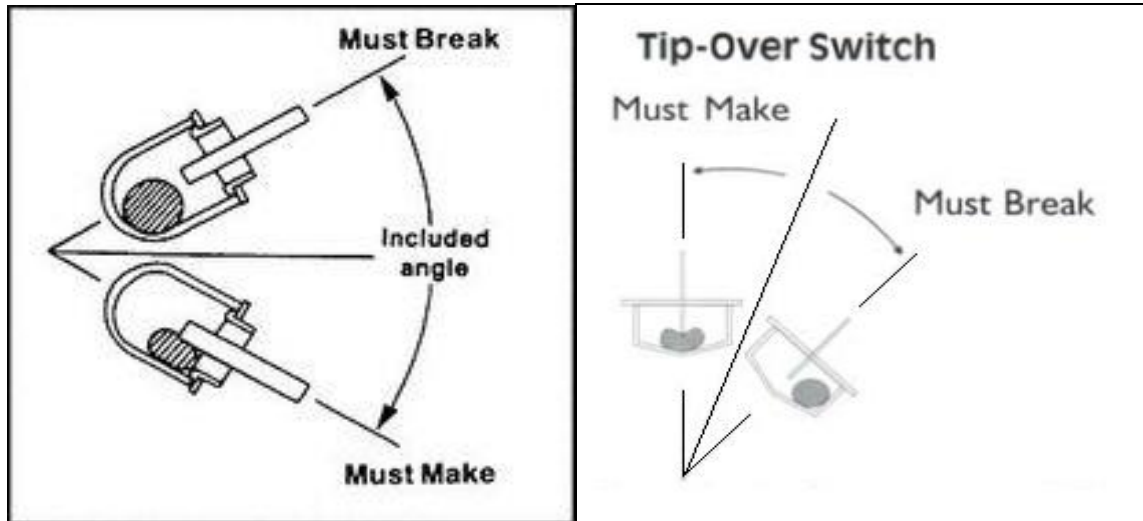


Figura 18 – Esquema de funcionamento de 2 tipos Tilt switch

Este tipo de sensores têm velocidade de operação mais lenta que os anteriores, devido à inércia da gota de mercúrio, o que para algumas aplicações pode ser um inconveniente, contudo no âmbito do trabalho desta dissertação isto associado ao ângulo de tolerância que estes dispositivos apresentam são mais-valias que permitem atenuar o efeito das vibrações a que se encontram sujeitos os equipamentos, sendo estes os principais motivos para a escolha deste tipo de sensores.

3.2.4 Sensores de humidade

Medição de humidade está entre os problemas mais difíceis em meteorologia básica. Normalmente esta medição é efectuada através de um condensador cujo valor é proporcional a humidade relativa do ar. Estes sensores exigem cuidadosas calibrações uma vez que a humidade relativa é uma função da temperatura e da humidade absoluta, pequenas variações de temperatura no ar dentro na câmara de ensaio durante o processo de calibração irá originar erros de calibração.

Para os dispositivos electrónicos é mais perigosa a condensação, ou “dew point”, que a humidade relativa. Aveiro é uma cidade com um clima húmido, tendo muitos dias humidades relativas altas mas nem sempre humidade alta significa condensação, pois esta depende da humidade relativa, da temperatura e da pressão. Logo existe a necessidade de

utilizar um dispositivo que nos indique a presença de água. Muitos dos sensores comerciais para este efeito por norma apenas detectam possibilidade de formação de água, não detectam a presença desta (ver figura 19 [73],[75]).



Figura 19 – Exemplos de sensores de humidade

3.2.5 Sensores de corrente

Os sensores de corrente baseiam-se normalmente em dois princípios de funcionamento distintos. A corrente pode ser medida directamente colocando um amperímetro em série com o circuito, isto é uma resistência de baixo valor e medir a queda de tensão nesta e calcular usando a lei de Ohm [77].

Para aplicações que usam tensões altas ou correntes elevadas, a resistência em série nem sempre é praticável devido a inúmeros factos, tensões de funcionamento do equipamento de medida, queda de tensão originada pela resistência de medida ou dissipação de potência por efeito de Joule, nesses casos pode-se medir este corrente recorrendo a uma sonda de Hall [78]. Uma corrente a circular num condutor gera um

campo magnético perpendicular a direcção de propagação, é baseado neste princípio que funcionam as pinças de Hall, possuindo três condutores, dois para alimentação e um terceiro onde será gerado uma tensão proporcional a esse campo magnético. Uma vez que estes instrumentos detectam campos magnéticos para reduzir o efeito de campos indesejados é comum envolver estes sensores com um anel de ferrite. Na figura 20 [73],[75] encontram-se alguns sensores, baseados neste princípio.



Figura 20 – Exemplos de sensores de corrente

Para a medição da corrente eléctrica neste trabalho, devido a sua simplicidade não será usado nenhum sensor comercial, sendo usado uma resistência e um amplificador de instrumentação.

4 Hardware utilizado

4.1 Fonte de alimentação e regulador de tensão

O objectivo principal de uma fonte de alimentação é transformar uma tensão disponível, normalmente a tensão da rede, numa tensão diferente. A fonte de alimentação usada transforma a tensão da rede, 230V AC, numa tensão 18V DC, o que permite trabalhar com equipamentos de corrente contínua. A fonte de alimentação pode ser vista como composta por quatro blocos, Transformador, Rectificação, Filtragem e Regulação AC da tensão.

- **Transformador** – É um dispositivo destinado a transmitir energia eléctrica ou potência eléctrica de um circuito para outro, transformando tensões, correntes e ou de modificar os valores das impedâncias eléctrica de um circuito eléctrico.
- **Rectificação** – Converte a tensão alternada numa tensão com componente DC.
- **Filtragem** – Converte o sinal da rectificação numa tensão contínua.
- **Regulação** – Regula a saída de modo a ter uma tensão DC constante.

A fonte de alimentação usada encontra-se afastada dos equipamentos que se pretende monitorizar, existindo portanto uma queda de tensão ao longo do cabo de alimentação. Além disso a tensão DC usada é superior a tensão pretendida para a alimentação do circuito logo será usado um regulador de tensão a entrada da alimentação dos módulos. O regulador actua também na protecção do circuito, em caso de sobrecarga os eventuais danos causados serão neste e não no circuito implementado.

Na figura 21 encontra-se o regulador usado neste trabalho, LM7805 [79], cujo output é 5V DC, ao pino “in” é ligada a tensão proveniente da fonte de alimentação, o pino “out” será a alimentação do circuito.

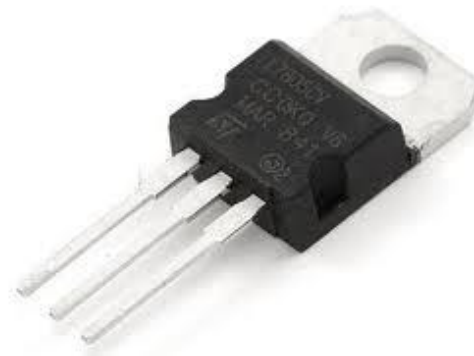
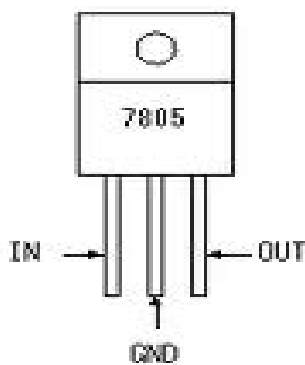


Figura 21 – LM7805

4.2 Amplificadores

O circuito conhecido como amplificador operacional, ampop ou “op-amp”, é o elemento base da construção de muitos circuitos de acondicionamento e amplificação de sinal. Na escolha de um op-amp deve-se ter em conta os seguintes desvios dos conceitos ideais:

Tensão de *offset* à entrada- A tensão de *offset* à entrada, v_{io} , define-se como o nível de tensão contínua que tem que se aplicar entre os dois terminais de entrada do amplificador para se obter uma tensão de saída nula. São inúmeros os motivos que podem originar esta tensão relacionados com imperfeições no processo de fabrico

Corrente de polarização à entrada- Embora o seu valor seja geralmente pequeno, a corrente de entrada não é nula.

Corrente de *offset* à entrada- A corrente de *offset* à entrada é a diferença entre as correntes de polarização nos terminais de entrada quando a tensão de saída é nula.

Tensão de *offset* à saída- A tensão de *offset* à saída, V_{oo} é definida como a tensão presente á saída do amplificador quando ambas as entradas estão ligadas à massa

Factor de rejeição da tensão de alimentação- O factor de rejeição da tensão de alimentação, ou PSRR (Power Supply Rejection Ratio) define a sensibilidade do op-amp às variações na sua tensão de alimentação, ele define-se como a razão entre a variação de tensão de *offset* à entrada com a variação de uma das tensões de alimentação, mantendo todas as outras tensões constantes.

Para tentar minimizar este efeito utiliza-se muitas vezes condensadores nas linhas de alimentação com o objectivo de as desacoplar, filtrando assim ruído gerado por comutação de outros circuitos, dimensionando estes condensadores para filtrarem quer as componentes de baixas frequências quer as altas.

Slew Rate- O *Slew Rate* é a taxa máxima de variação da tensão de saída em ordem ao tempo. A capacidade do amplificar para variar a sua tensão de saída rapidamente é limitada, isto condiciona a resposta do amplificador a sinais de alta frequência e de grande amplitude e a ondas quadradas.

Excursão do Sinal- A excursão do sinal possível num amplificador está limitada pela respectiva tensão de alimentação, quer em termos da tensão de entrada quer em termos da tensão de saída. Apenas os amplificadores *rail-to-rail* permitem uma excursão do sinal até a tensão de alimentação.

CMRR- O CMRR (Common Mode Rejection Ratio) ou factor de rejeição de modo comum mede a distância do amplificador em relação ao amplificador ideal, medindo a capacidade deste em amplificar a diferença entre as duas tensões de entrada, independentemente da sua tensão em modo comum, dada pela fórmula:

$$CMRR = 20 \log_{10} \frac{A_d}{A_c} [dB]$$

onde A_d é o ganho diferencial e A_c o ganho em modo comum.

Como se pode verificar existem vários factores que afectam o conceito ideal de amplificador de diferenças, para a realização de instrumentação electrónica de qualidade é necessário melhores circuitos. Os amplificadores de instrumentação visam a aproximação desse conceito ideal possuindo diferentes configurações dependendo do objectivo a que se destinam, normalmente são amplificadores com as seguintes características:

- é um amplificador de diferenças;
- a sua entrada é diferencial e a saída monopolar, com referência a um outro terminal;
- a impedância de entrada é elevada e simétrica;
- o ganho é preferencialmente determinado por uma única resistência, isolada dos terminais de entrada.

Hardware utilizado

Uma das configurações mais populares para a realização destes amplificadores é a da figura 22, usando três op-amps.

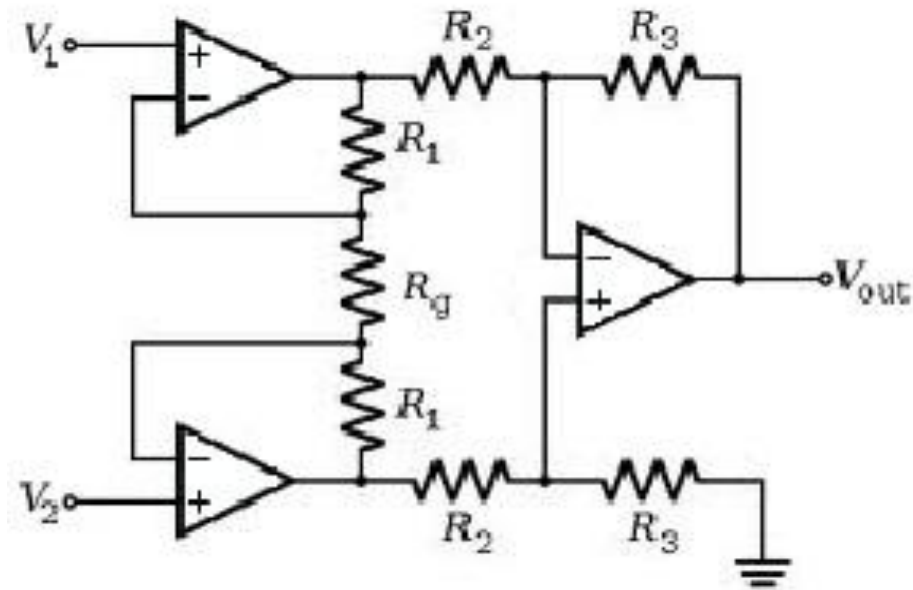


Figura 22 – Amplificador de instrumentação com 3 Op-amps

O ganho diferencial desta configuração é obtido pela expressão:

$$G = \frac{R_3}{R_2} \left(1 + 2 \frac{R_1}{R_G} \right)$$

As vantagens deste circuito são:

- R_{in} elevado e R_{out} baixo;
- o ganho é determinado por R_G que está isolada das entradas;
- R_{in} é igual para ambas as entradas;
- o circuito é simétrico (o que permite o CMRR com boa largura de banda).

4.3 Unidade de Processamento

O microcontrolador da Microchip [80] 18F2550 (figura 23 [81]) foi o escolhido para este trabalho. Este microcontrolador foi usado com a velocidade de relógio de 20Mhz. Depois da análise do capítulo 3 escolheu-se para a comunicação entre este módulo e o receptor o protocolo RS232, configurando-se para tal a EUSART (Enhanced Universal Synchronous / Asynchronous Receiver Transmitter).

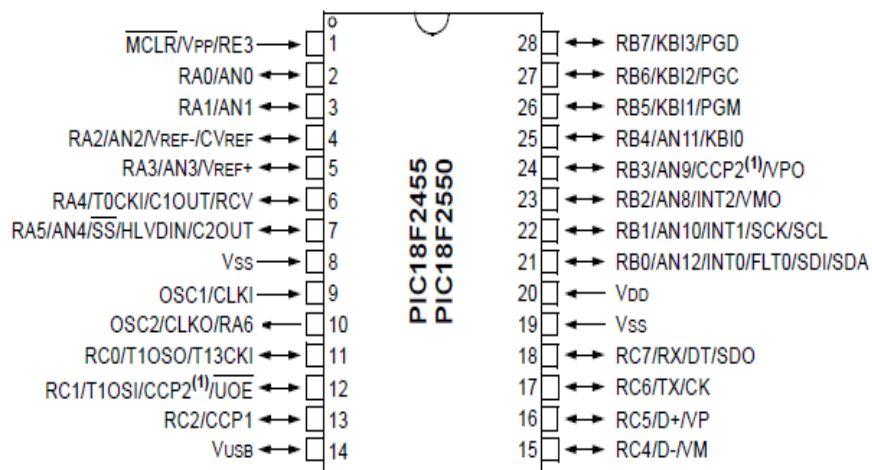
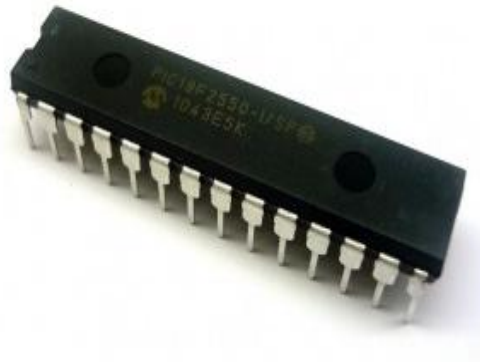


Figura 23 – PIC 18F2550

O microcontrolador suporta uma velocidade de relógio até 48Mhz, possui 10 entradas conversoras de analógico para digital (ADC), 4 timers (1 de 8 bits e 3 de 16bits),

Hardware utilizado

comunicação EUSART e MSSP (Master Synchronuous Serial Port), possui interrupções por *hardware*.

Para além das principais características acima apresentadas este microcontrolador suporta também USB 2.0 sendo este um dos motivos que levou a escolha deste, apesar de não ser do âmbito destes projecto esta mais valia foi usada numa fase inicial do projecto para os testes iniciais.

A linguagem usada para programar o microcontrolador foi o C, e o programa usado para escrever e compilar foi o MPLAB IDE (Integrated Development Environment) [82] da Microchip. Usando este programa e o código C permitiu em alguns casos utilizar funções previamente desenvolvidas e possibilitou um alto nível de interface entre o *software* e o *hardware*.

5 Implementação e solução proposta

Pretende-se elaborar uma arquitectura modular para monitorização dos equipamentos, pretende-se que a solução por um lado recolha os diversos dados e os disponibilize ao utilizador e que caso se verifique uma situação crítica para o equipamento desligue a energia, minimizando assim os possíveis danos.

Após as análises conduzidas ao longo dos Capítulos 3 e 4 foi possível desenhar o esquema da solução a implementar. Este pode ser consultado na figura 24.

O sistema proposto consiste então de dois módulos principais, o de monitorização e o receptor. Nas duas secções seguintes serão abordadas as implementações para cada um dos casos.

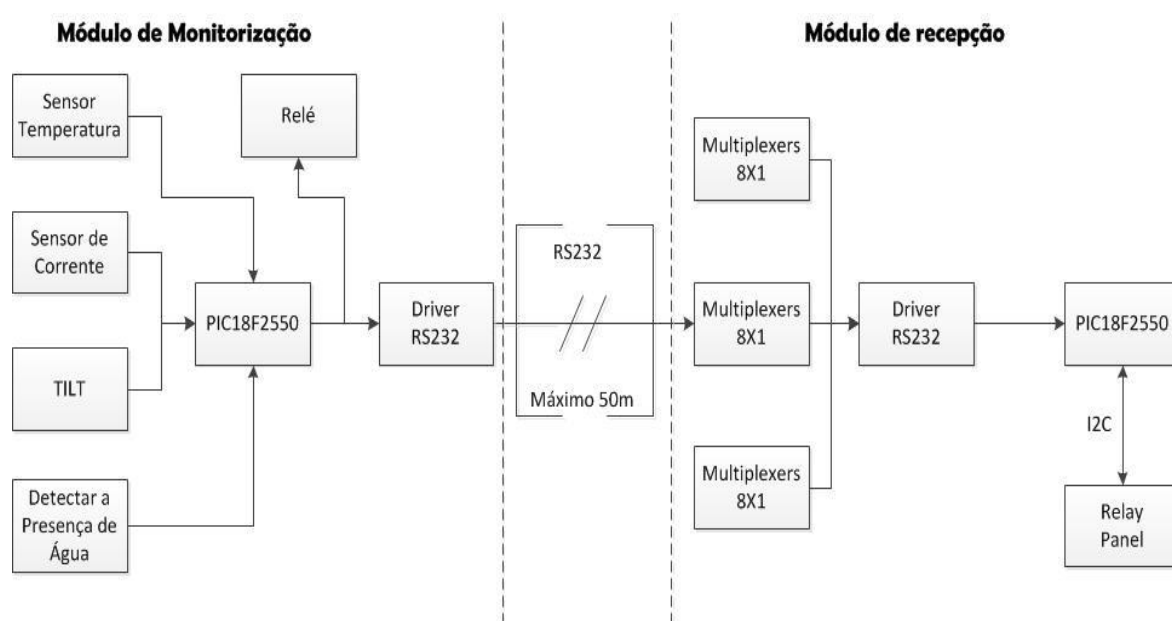


Figura 24 – Esquema global da solução proposta

5.1 Módulo de monitorização

Como já foi referido pretende-se projectar um módulo que permita medir a temperatura e a corrente, detectar se os dispositivos se encontram na posição correcta e a presença ou condensação de água. Caso detecte alguma anomalia no funcionamento do dispositivo este módulo deverá por medida de precaução desligar a energia ao mesmo, actuando num relé.

Como referido no capítulo 2.4. todos os nós da rede AMazING encontram-se interligados por cabos Ethernet. Este módulo irá usar os dois pares do cabo Ethernet que não são utilizados e se encontram livres (ver figura 5), nomeadamente o par azul (PR1) e o par castanho (PR4). Nesta dissertação optou-se por utilizar usar-se esses dois pares para fornecer energia ao módulo e para a comunicação, cumprindo assim o objectivo de evitar a necessidade de utilizar novos cabos.

Para além da distância que será necessário transmitir, até 50m, outras considerações a ter em conta no projecto deste módulo estão relacionados com energia consumida e a relação qualidade-preço.

5.1.1 Temperatura

Para se medir a temperatura, depois de uma análise detalha das características apresentadas no capítulo 3.2 optou-se por escolher um LM335.

Sendo o LM335 [83] um sensor integrado como já referido possui as seguintes características: é o mais linear de todos, a gama de temperaturas medidas encontra-se dentro da necessária. Além destes o preço e a gama do sinal de saída são outros factores preponderantes nesta escolha.

Usando o datasheet fornecido pelo fabricante montou-se o circuito da figura 25.

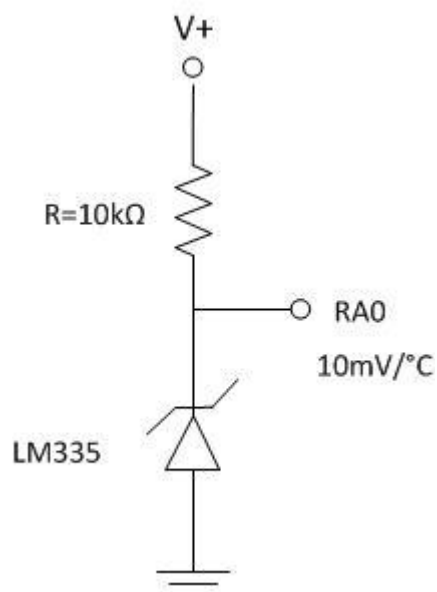


Figura 25 – Circuito implementado para medir a temperatura

Como os valores à saída deste circuito se encontram dentro da gama de resolução da ADC do microcontrolador, optou-se por ligar directamente a entrada da ADC, pois não se considerou necessário proceder ao tratamento do sinal, isto é filtrar ou amplificar.

Na tabela 1 encontra-se representado diversos valores que se obtêm de tensão e o seu correspondente valor de temperatura.

Tensão (V)	Dec lido	Temperatura K	Temperatura $^{\circ}C$
2,63	134	263	-10
2,73	139	273	0
2,83	144	283	10
2,93	149	293	20
2,98	152	298	25
3,03	154	303	30
3,13	160	313	40
3,33	170	333	60
3,53	180	353	80
3,73	190	373	100

Tabela 1 – Tensão e temperatura correspondente

Implementação e solução proposta

Uma vez que a variação de temperatura não é instantânea, pode considerar-se, do ponto de vista do microcontrolador, uma medição estática. Optou-se por configurar um timer que irá chamar a rotina de medição de temperatura, dado não se tratar de uma rotina crítica não se configurou nenhuma interrupção associada a esse timer, sendo a rotina principal, “main”, responsável por verificar o estado do timer. O fluxograma da medição de temperatura encontra-se na figura 26.



Figura 26 – Fluxograma da medição de temperatura

5.1.2 Medição de Corrente

Como apresentado no capítulo 3.2.5 e 4.2, existem diversas maneiras de medir a corrente, optou-se neste trabalho por utilizar uma resistência de baixo valor e medir a sua queda de tensão. Desta forma o valor da corrente pode ser calculado imediatamente pela lei de ohm, $I = V/R$. Quando menor o valor da resistência menor será a queda de tensão provocada e menor será a interferência desta medição no normal funcionamento do circuito. Por isso optou-se por utilizar uma resistência de baixo valor e medir a queda de tensão utilizando um amplificador de instrumentação (AD623 [84]) devido as características apresentadas no capítulo 4.2. O circuito implementado encontra-se na figura 27.

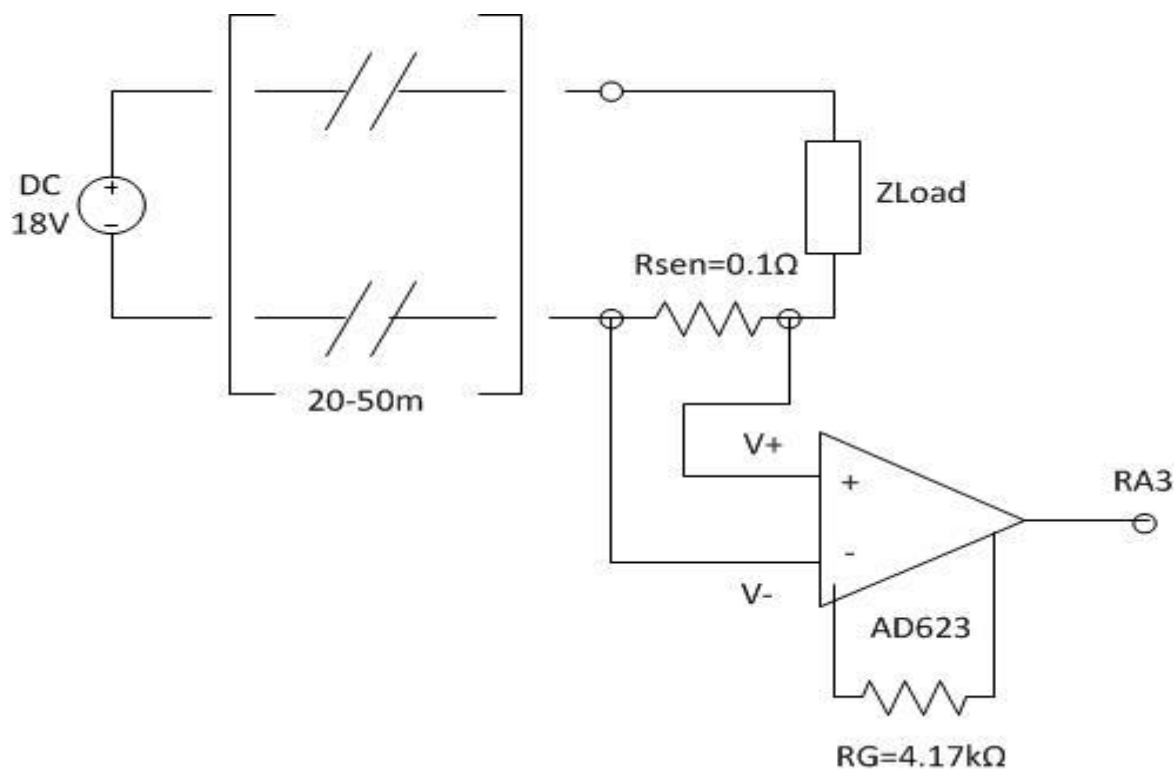


Figura 27 – Circuito implementado para medir a corrente

Para que se possa aplicar a lei de Ohm e medir a queda de tensão nas resistências é necessário primeiro converter essa tensão num valor analógico compreendido entre 0 e 5 volts de forma a poder ser lido pela ADC.

Implementação e solução proposta

Pretende-se medir correntes que variem entre 0A a 2A, assim a 5V irá corresponder 2A e a 0V a 0A. Optou-se por escolher uma resolução de 10bits na conversão de analógico para digital para ter uma maior resolução.

A resolução que se consegue obter é de $(2000-0)/1024=2\text{mA}$, consegue-se medir correntes múltiplas de 2mA o que para a aplicação em causa considerou-se suficiente.

O valor do ganho que o amplificador deverá ter é dado pelo Valor máximo da tensão de saída/ (queda de tensão máxima). Uma vez que a queda de tensão na resistência é dada pelo valor da resistência vezes a corrente que a atravessa então para uma resistência uma resistência de 0.1Ω o ganho que o amplificador necessita é de $5/(0.1*0.2)=25 \text{ V/V}$. Após consulta do datasheet do opam, a fórmula para calcular a resistência de ganho R_g , é $R_g = 100 \text{ k}\Omega/(G - 1)$ o que implica uma resistência $R_g=4.17\text{k}\Omega$, como não existe nenhum resistência de série perto deste valor optou-se por usar duas, uma de $3.9\text{k}\Omega$ em série com uma de 270Ω .

Aos terminais da resistência, R_{sen} , irá ocorrer dissipação de potência logo esta deverá ser dimensionada tendo em conta o valor mais alto de dissipação. A fórmula para calcular é $P_d = V * I$, $P_d = 0.2\text{V} * 2\text{A} = 0.4 \text{ W}$.

Na tabela 2 está representado os vários valores que se obtém e os que são necessários para projectar o medidor de corrente:

Corrente [mA]	Resistência [Ohm]	Ganho	ΔV na resistência[V]	Amplificado [V]	DEC [PIC] 10BIT	Dissipação R_{sen} [W]
0	0.1	25	0.00	0	0	0
500	0.1	25	0.05	1.25	255	0.025
1000	0.1	25	0.10	2.50	511	0.1
1500	0.1	25	0.15	3.75	767	0.225
2000	0.1	25	0.20	5	1023	0.4

Tabela 2 – Valores para uma corrente de 2^a

O fluxograma da medição de corrente encontra-se na figura 28. Uma vez que esta é a rotina mais crítica, ela é a rotina main. Para não complicar demasiado no fluxograma exposto apenas se representa esquematicamente as decisões mais importantes tomadas, não

contemplando outras partes do código nomeadamente questões relacionadas com o armazenamento dos dados recolhidos e gestão das rotinas chamadas, isto é, apenas é permitido uma das rotinas ser chamada em cada ciclo, de forma a minimizar o tempo entre as medições de corrente.

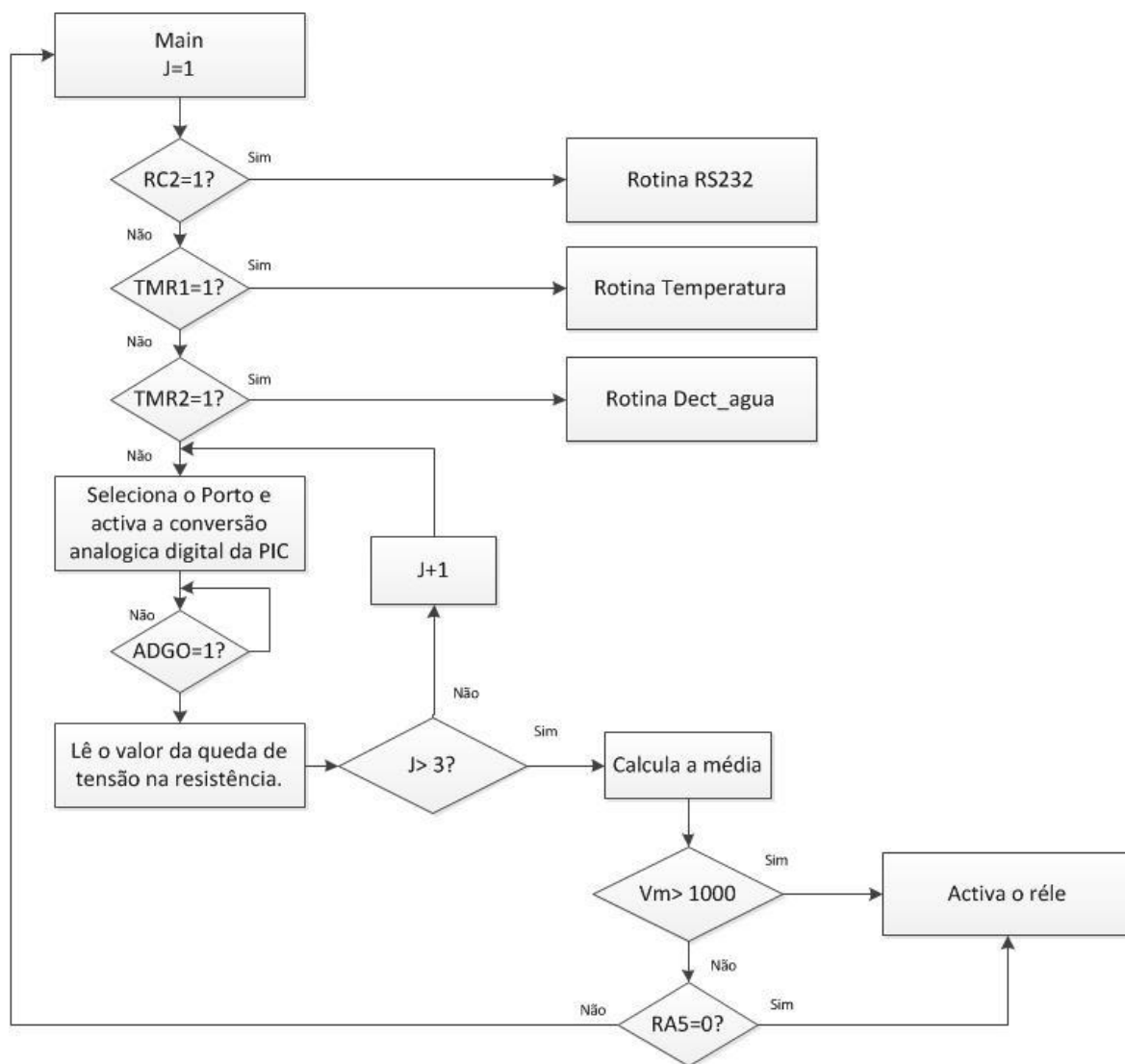


Figura 28 – Fluxograma da medição de corrente

Implementação e solução proposta

5.1.3 Posição

Para verificar se os dispositivos se encontravam na posição correcta escolheu-se um TILT com uma bola de mercúrio.

O circuito montado encontra-se na figura 29.

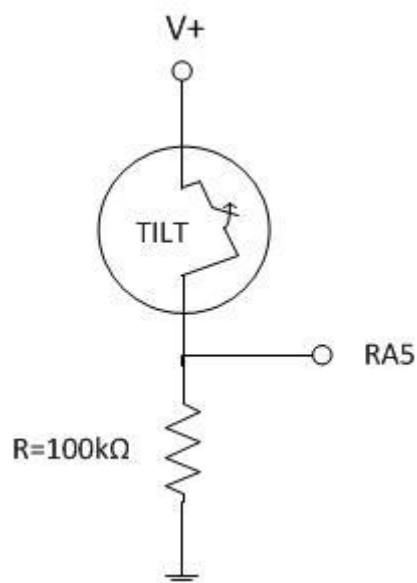


Figura 29 – Circuito implementado para verificar a posição

Na tabela 3 encontram-se alguns valores de ângulos e o correspondente valor de tensão e significado prático.

Ângulo (°)	Valor Tensão (V)	Desligado
0	5	Não
10	5	Não
35	0	Sim
90	0	Sim
145	0	Sim
170	5	Não
180	5	Não

Tabela 3 – Ângulos de actuação do Tilt

Configurou-se o microcontrolador para caso verifique que a tensão se encontra a 0V, enviar uma mensagem de alarme ao módulo de recepção e activa o relé que por sua vez irá desligar a energia.

5.1.4 Verificar a presença de água

Pretende-se detectar a presença de água dentro da caixa que protege os equipamentos e caso se verifique a presença desta, desligar a energia dos equipamentos de forma a prevenir eventuais danos. Esta necessidade advém do facto dos equipamentos se encontrarem no exterior, estando assim mais expostos ao clima e a possíveis danificações das suas caixas que podem comprometer a segurança dos equipamentos. Estas danificações nas caixas podem originar pequenas infiltrações e o facto de a condensação como referido no capítulo 3.2.4 depender de diversos factores, temperatura, pressão e humidade relativa do ar foram factores preponderantes na decisão de tentar medir a presença de água e não apenas a humidade relativa.

Após consultar as ofertas do mercado, constatou-se que a maioria dos sensores disponíveis apenas verificava a humidade relativa, alarmando caso esta se encontra-se alta. Optou-se então por usar a placa da figura 30 [85], sendo constituída por linhas de circuito impresso próximas umas das outras mas com a particularidade de em vez de cobre serem de estranho (Tinned Copper [86]) de forma a minimizar os efeitos da oxidação que poderiam comprometer a viabilidade do dispositivo.

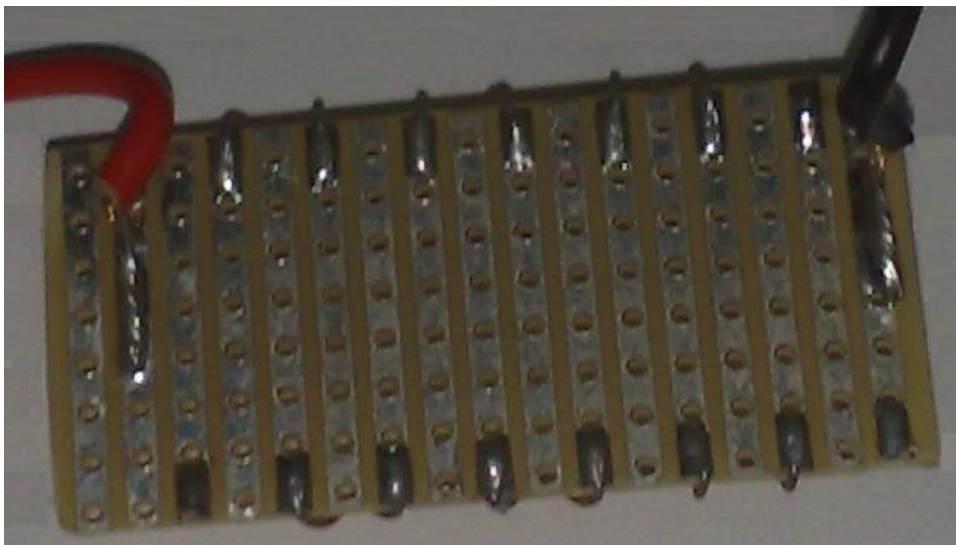


Figura 30 – Placa utilizada para detectar a presença de água

O princípio de funcionamento do circuito implementado pode ser explicado da seguinte forma: ligando as linhas alternadamente uma vez que a condutividade do ar e a do substrato é muito baixa (a constante ϵ_0 , permissividade do vácuo, não pode ser aplicada logo não se pode quantificar), na ausência de água, as linhas de circuito impresso funcionam como um condensador tendo como dielétrico o ar e o substrato. A água possui uma condutividade maior, logo atua como uma resistência de valor variável em paralelo com o “condensador” originando assim uma passagem de corrente que por sua vez irá gerar uma tensão na resistência de medição. O circuito equivalente pode ser consultado na figura 31. É de salientar que a resistência da água depende da quantidade de água e também dos íons e outros componentes que se encontram diluídos ou misturados nela, sendo a condutividade da água pura (H_2O) menor pois as suas ligações iônicas encontram-se completamente ocupadas.

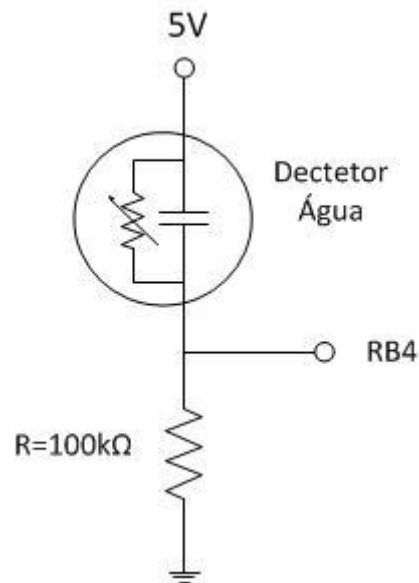


Figura 31 – Circuito implementado para detectar a presença de água

O fluxograma do código implementado pode ser consultado na figura 32. Uma vez que apenas se pretende detectar a presença de água e não efectuar a medição da quantidade, se se detectar uma variação de tensão durante as diversas medições será efectuado o pedido para desligar a energia sendo esta cortada enquanto esse pedido não é realizado. De notar que o valor usado para a comparação não é zero pois existe sempre tensões residuais e erros associados às medições que poderiam originar falsos alarmes assim usou-se a tensão de 0.2V como patamar de referência.

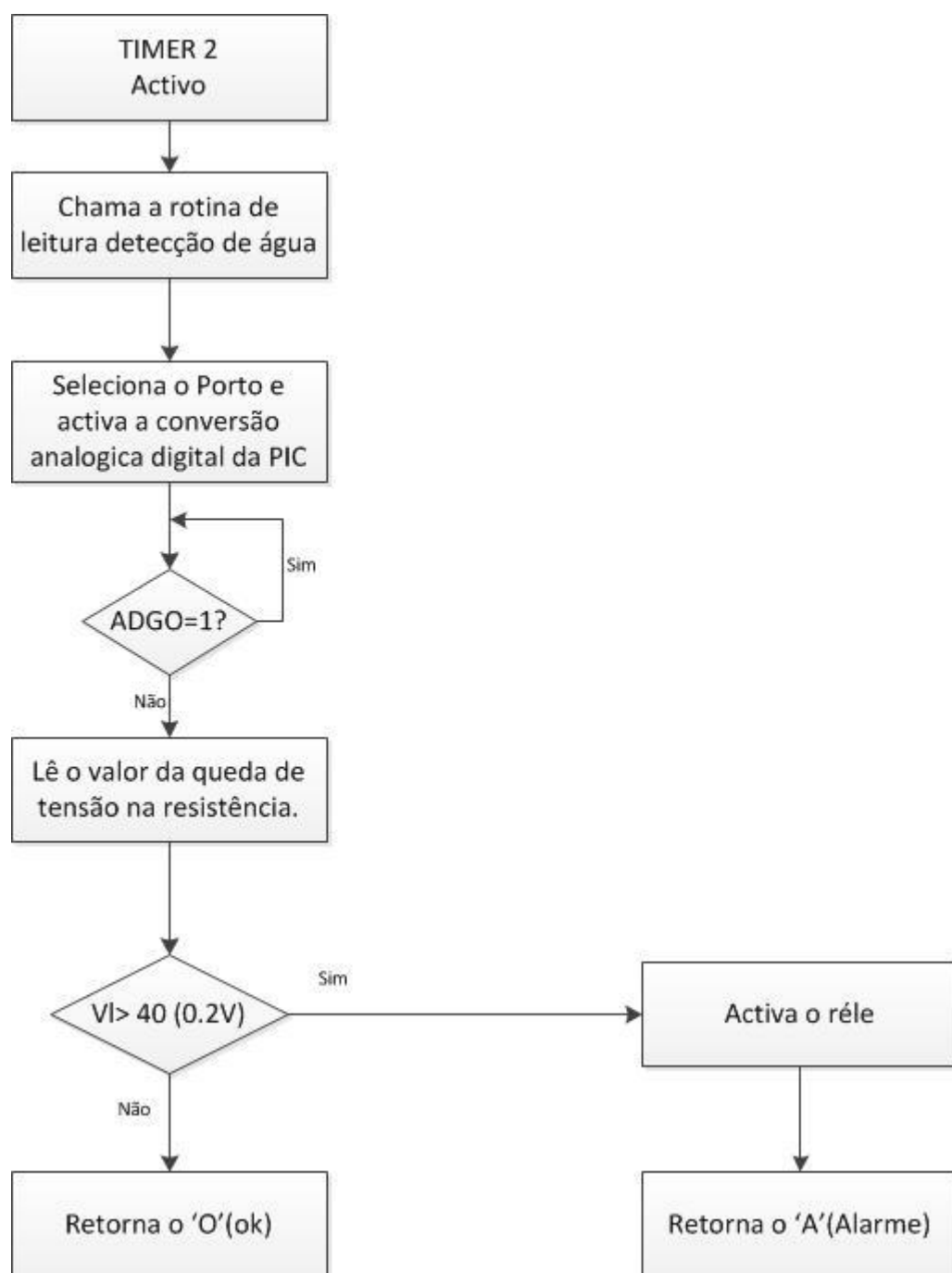


Figura 32 – Fluxograma da rotina de detecção de água

5.1.5 Relé

O relé tem como função cortar a energia do dispositivo caso se detecte alguma anormalidade que possa danificar os equipamentos. O relé escolhido [87] tem as seguintes características:

- Coil Voltagem VDC Nominal 5V
- Contacto Corrente Máxima 5A
- Contacto Voltagem AC Nominal 250V
- Contacto Voltagem DC Nominal 30V
- NC - normal fechado (Closed)

O circuito implementado encontra-se na figura 33. Uma vez que o relé em causa não necessita de muita corrente para mudar de estado não se achou necessário adicionar um transístor para garantir maior corrente quando se pretende desligar a energia.

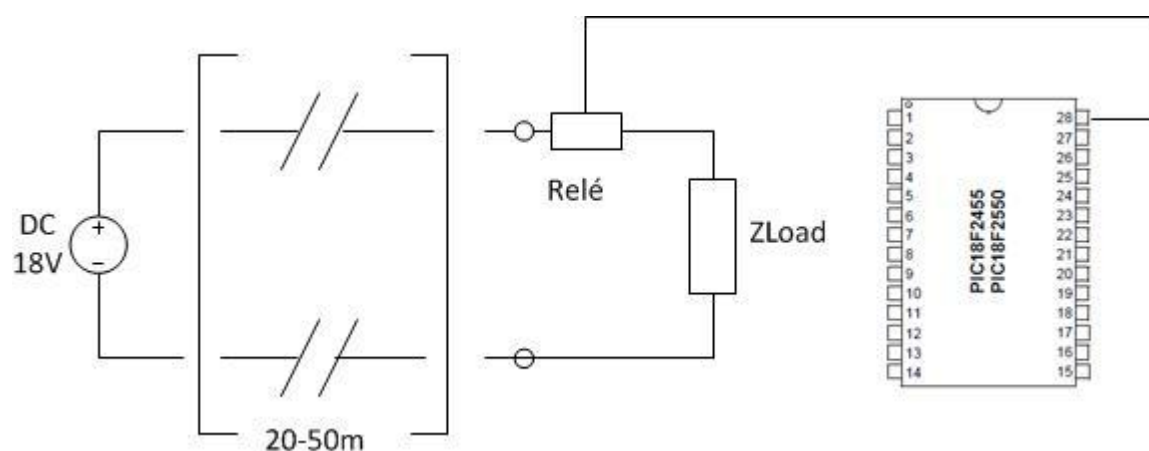


Figura 33 – Circuito implementado para cortar a corrente

5.2 Módulo de recepção

Como foi referido a função deste modo é recolher os dados provenientes dos módulos de monitorização e enviá-lo ao dispositivo que controla a energia, à fonera, quando este os solicitar.

Este módulo possui duas interfaces de comunicação diferentes, RS232 e I2C, quando o protocolo RS232 se encontra activo o bit X é colocado a 5V, sinalizando desta forma aos módulos de monitorização que pretende receber os dados recolhidos.

O diagrama do circuito implementado pode ser consultado na figura 34.

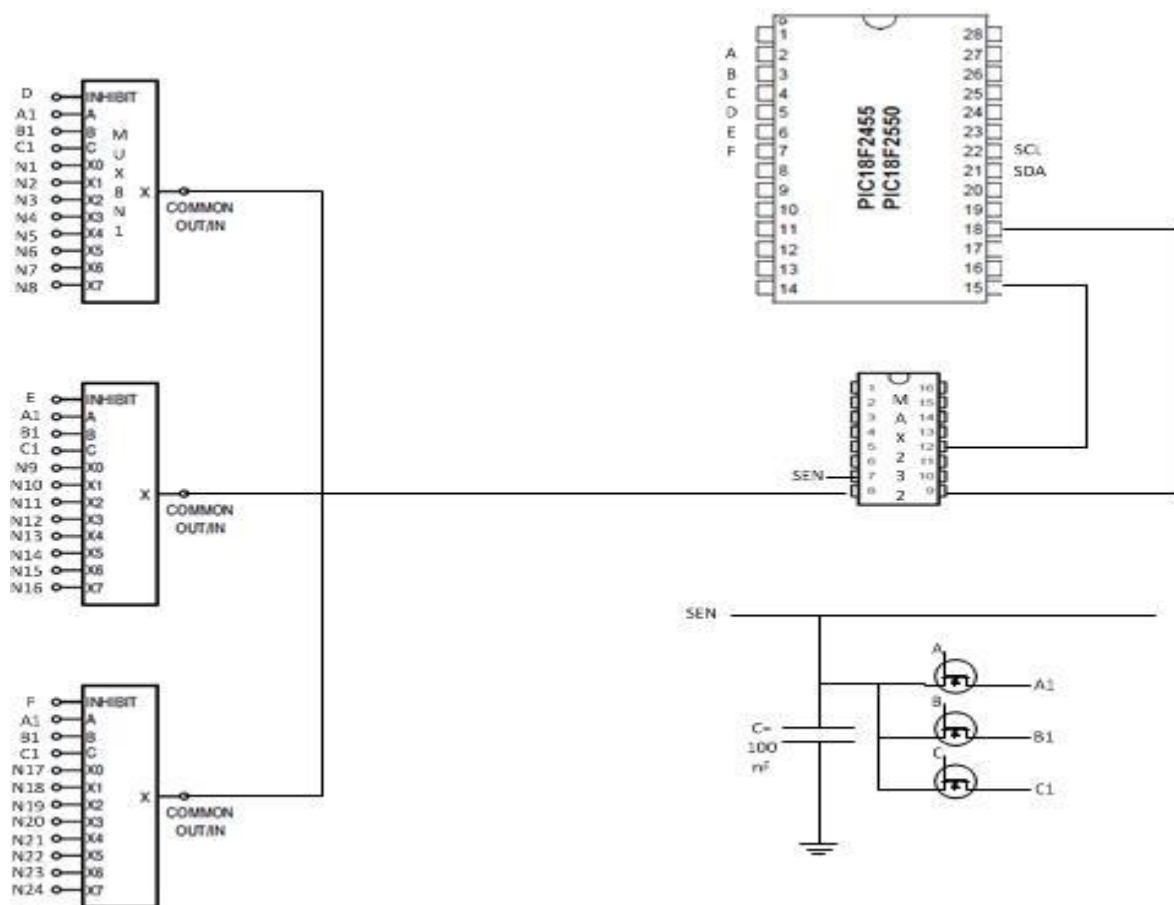


Figura 34 – Esquema do módulo de recepção

Uma vez que o sinal recebido apresenta uma amplitude superior a 5V, perto dos 15V, existe a necessidade de usar nos pinos de selecção dos desmultiplexers uma tensão da mesma ordem de grandeza do VDD. Dado já se possuir uma tensão de 15V, utilizando um

transístor mosfet de potência como mosfet switch permite obter uma tensão de saída de 15- V_{GD} quando se encontra activo pois a resistência é baixa e quando se desliga uma tensão baixa devido a alta resistência. No entanto quando se desliga o mosfet existe alguma dissipação de potência, sendo este o motivo para a escolha de um Mosfet de potência.

6 Resultados

De modo a demonstrar o correcto funcionamento dos circuitos dos módulos propostos testou-se individualmente numa primeira fase, cada componente do circuito.

6.1 RS232

Começou-se por testar a comunicação RS232. Para tal montou-se o circuito da figura 35.

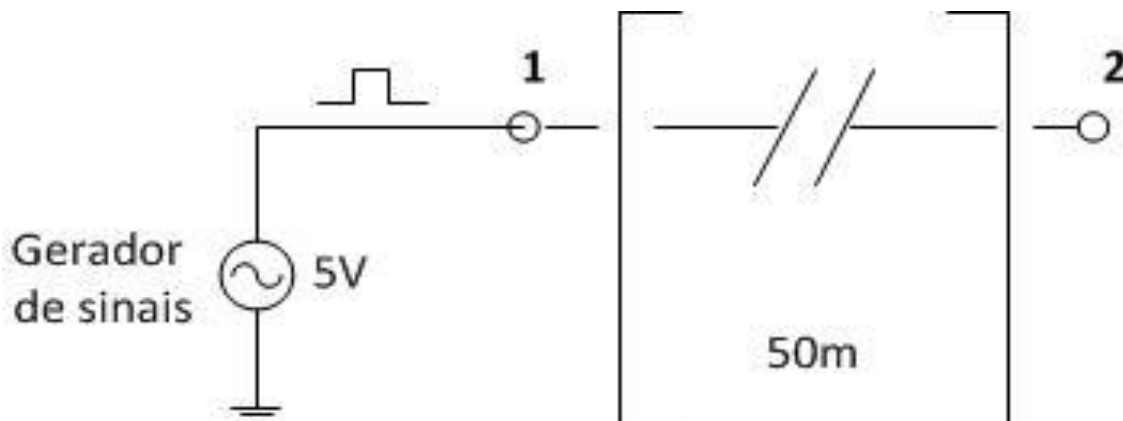


Figura 35 – Circuito de teste da atenuação do sinal no cabo RJ45

Com o gerador de sinais, injectou-se um sinal rectangular, a uma frequência de 19kHz e com 5V de amplitude ao longo de um cabo de rede de 50m. Utilizando o oscilador mediu-se o sinal à saída do gerador (Ch1) e comparou-se com o sinal ao fim dos 50m (Ch2), os resultados obtidos encontram-se na Figura 36.

Como se pode observar na figura 36 o sinal ao fim de 50m e sem carga apresenta alguma oscilação, não cumprindo o requisito de se encontrar estável necessário para uma boa comunicação RS232, de salientar também que o PIC não possui a mesma capacidade de fornecer corrente (capacidade de carga) que o gerador, logo o sinal obtido caso se utilizasse directamente a saída deste seria ainda mais instável. Estes resultados comprovam a necessidade de, para a distância máxima em causa, se utilizar o driver MAX232 [88].

Resultados

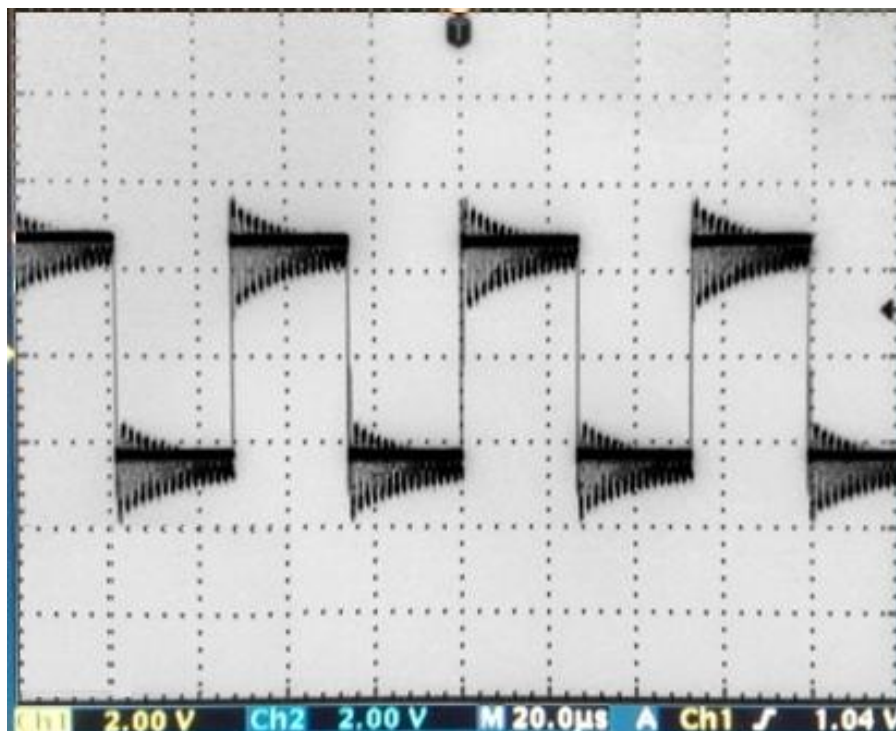


Figura 36 – Resultados para 5V

De seguida montou-se o circuito representado no diagrama de blocos do capítulo 5, figura 24. Desta vez injectou-se o sinal no andar de transmissão do MAX232 (Ch2), comparando-se este sinal com o sinal de saída do cabo de 50m, à entrada dos multiplexeres (Ch1). O resultado obtido pode ser consultado na figura 37.

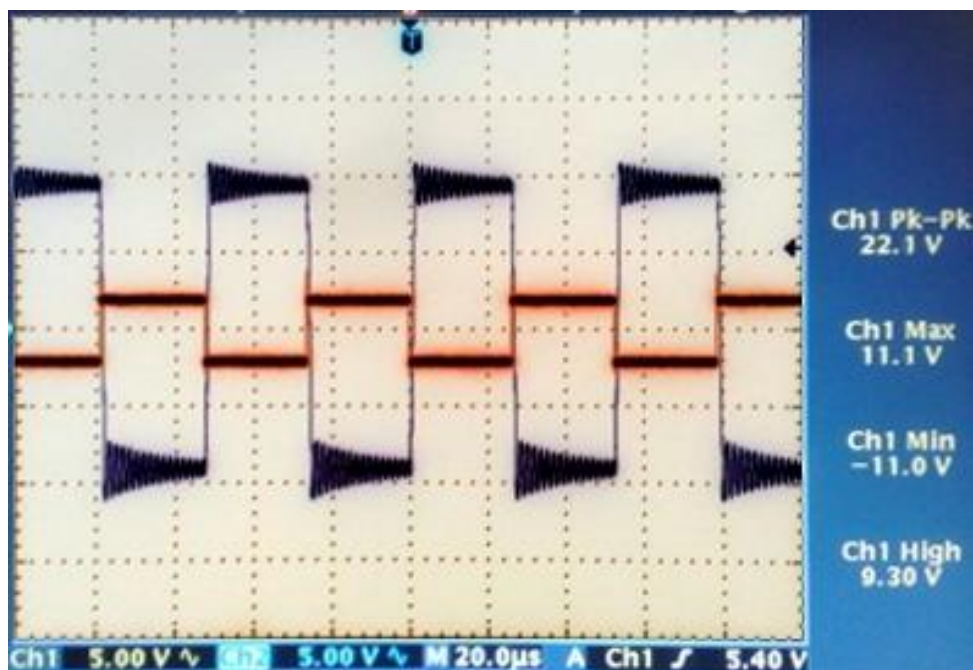


Figura 37 – Resultados usando o Max232

Na figura 38, encontra-se a comparação do sinal à saída do gerador de sinais (Ch1), com o sinal à saída do receptor do MAX232 (Ch2).

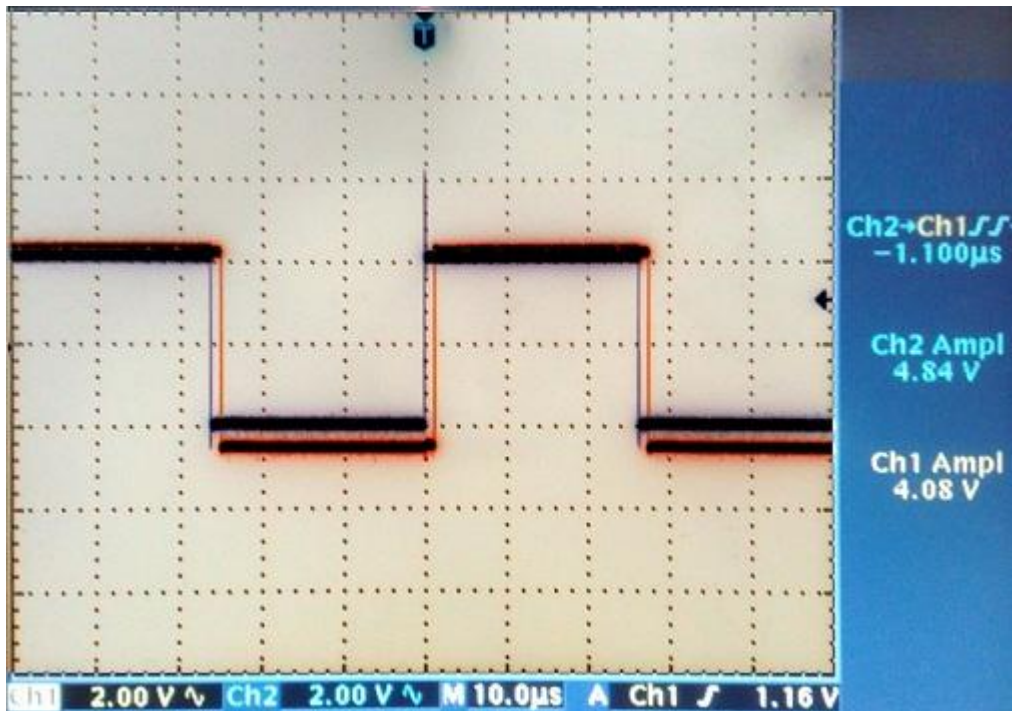


Figura 38 – Resultados usando à saída do Max232

Como se pode verificar o sinal a entrada dos multiplexeres apresenta uma oscilação semelhante para ao verificado anteriormente, mas esta não tem qualquer interferência no sinal à saída do receptor MAX232 pois o limiar de decisão encontra-se nos 3V. É possível verificar também que existe alguma atenuação na linha pois o valor médio recebido situa-se nos 9.3V.

De referir que na figura 38 a amplitude do sinal de entrada foi reduzida para 4V, demonstrando assim que mesmo que o sinal a saída do PIC não possua os 5V, o driver MAX232 permite uma correcta transmissão e o sinal recebido terá os 5V. É possível também verificar que o atraso medido é 1.1µs, este valor é meramente indicativo pois não afecta a transmissão uma vez que esta é assíncrona.

Uma vez testada a comunicação, utilizou-se o sinal do PIC para verificar se os resultados eram os mesmos e programou-se o PIC para enviar a trama “Hello” para comprovar que se encontrava a funcionar como pretendido.

Resultados

6.2 Temperatura

Em relação ao sensor de temperatura, começou-se por calibrar este. Para tal montou-se o circuito do capítulo 5.1.1, figura 25. E mediu-se a tensão aos seus terminais com o osciloscópio, a uma temperatura conhecida, neste caso 22°C. A tensão média medida foi 2.96V. Isso significa o desvio em relação à tabela 1 apresentada no capítulo 5.1.1 de +10mV.

Após a calibração, recorrendo a ADC do PIC verificou-se se a temperatura variava quando se colocava os dedos em volta do LM335 de forma a aquecer o seu encapsulamento. Quando se verificou que a temperatura medida se encontrava a subir retirou-se os dedos para verificar o oposto. O resultado obtido pode ser consultado no gráfico 1.

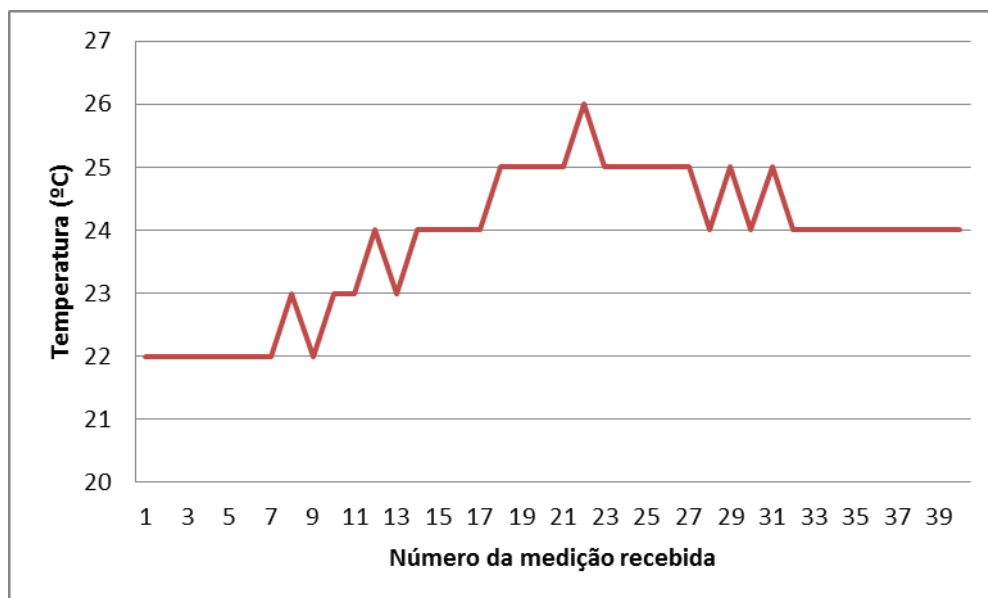


Gráfico 1 – Valores de temperatura medidos

Como foi referido usou-se o timer0 da PIC para controlar a frequência de amostragem sendo os valores apresentados as diversas amostragens, cada 5 amostras corresponde aproximadamente 1s.

6.3 Medição da Corrente

Montou-se o circuito apresentado na figura 27, do capítulo 5.1.2, medindo a queda de tensão aos terminais da resistência com o osciloscópio, os resultados obtidos encontram-se nas figuras 39 e 40

Como se pode observar na figura 39 o sinal medido possui muito ruído e possui alguns picos que ultrapassam o limite dos 2A, é devido a estes picos que quando se efectua a medição calcula-se o valor médio de três medições, evitando assim falsos alarmes. De notar também que estes picos poderão ser atenuados pelo amplificador, caso a duração destes seja inferior ao seu slew-rate. Em caso de curto-circuito ou caso o circuito se encontre a consumir mais corrente do que seria esperar este valor é constante.

Na figura 40 usou-se um tempo de amostragem menor e tentou-se demonstrar o ruído constante originado pelas ventoinhas de refrigeração da caixa do equipamento que se pretende medir.

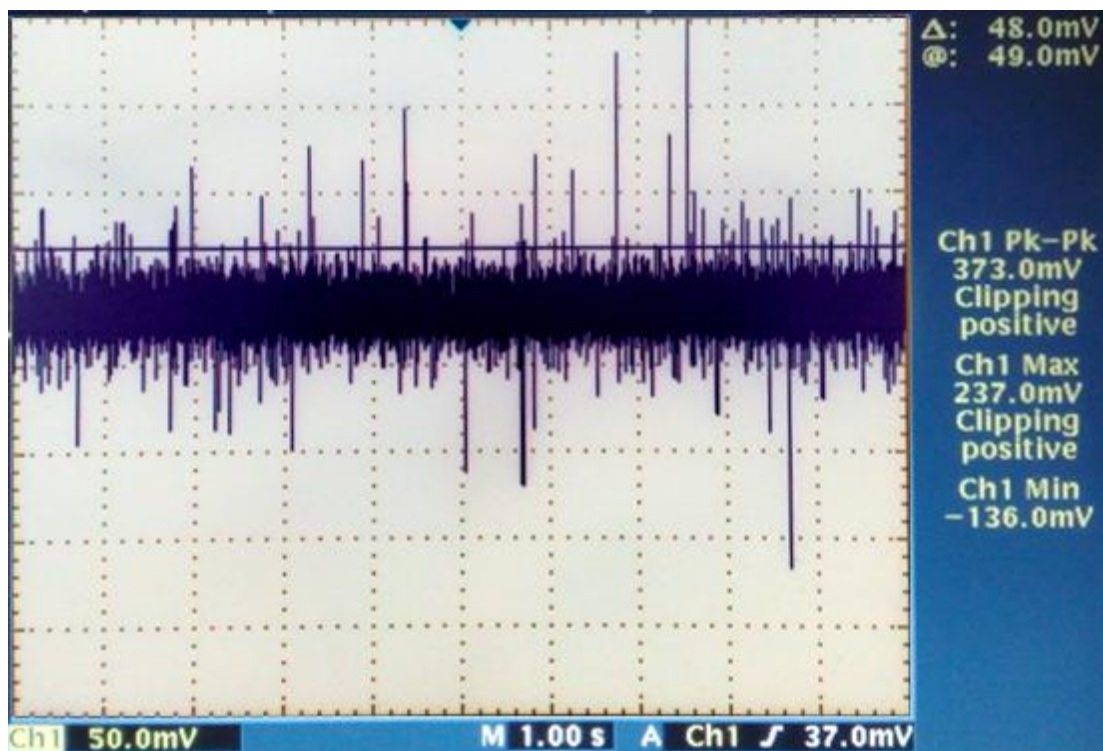


Figura 39 – Tensão medida aos terminais da resistência R_{sen}

Resultados

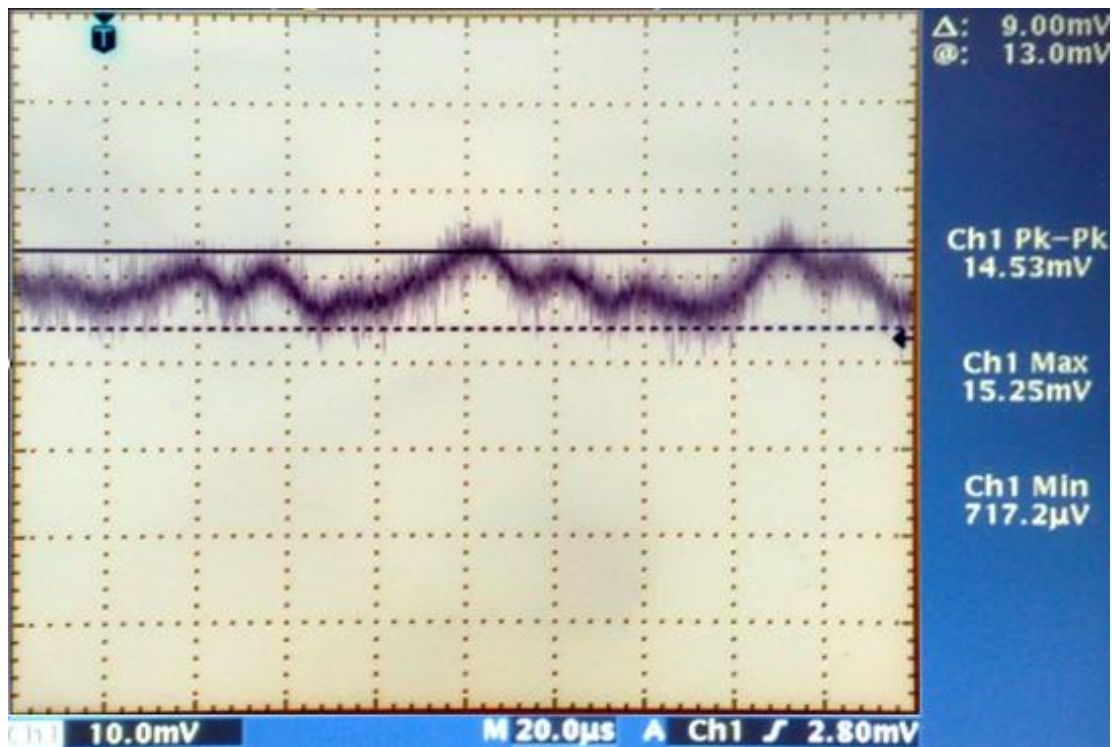


Figura 40 – Queda de tensão com maior resolução

Ligando o nó a rede de modo a permitir o normal funcionamento deste, comparou-se os valores convertidos pela PIC com os valores indicados na fonte de corrente durante a fase de inicialização do nó.

6.4 Posição

Montou-se o circuito da figura 29, capítulo 5.1.3 e mediu-se a queda de tensão aos terminais da resistência. Colocando a placa na correcta posição de funcionamento, girando a placa nos diferentes ângulos, testou-se o circuito quer ao nível da recepção da mensagem de erro, quer ao nível da actuação no relé.

Utilizando o osciloscópio mediu-se o tempo de reacção do TILT, obtendo-se cerca de 79 μs . O resultado obtido pode ser consultado na figura 41.

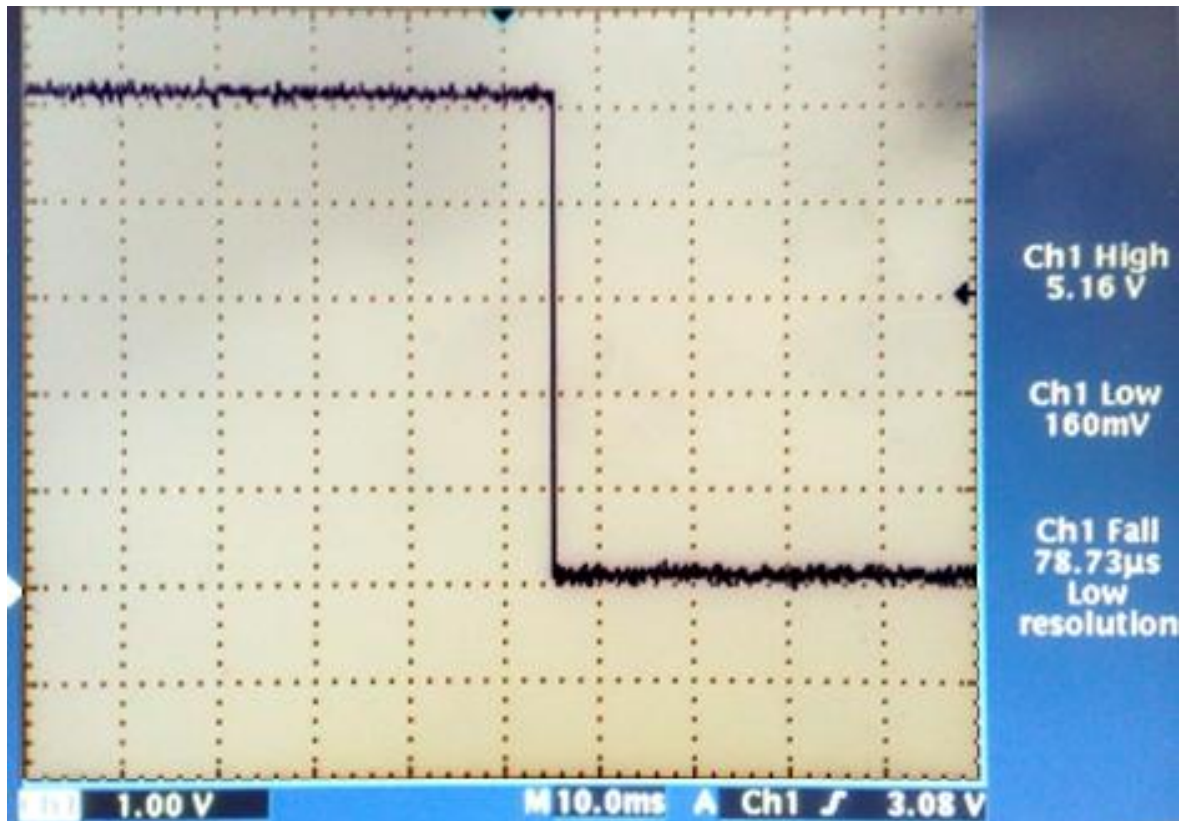


Figura 41– Tempo reacção do Tilt

De salientar no entanto que esta imagem não contempla o tempo que demora a inércia da bola de mercúrio pois este tempo de reacção baixo não permite medidas adicionais, nomeadamente qual o tempo que demora o circuito a cortar a energia pois este é efectuado em menos de 1s.

6.5 Detecção de água

Para testar o circuito montado para a detecção de água, começou-se por utilizar o voltímetro para medir a resistência da placa sem água e com água. O valor medido sem água oscilava entre circuito aberto e $4M\Omega$, o valor medido para a placa com água (ver figura 39) oscilava na casa dos $20\text{-}30k\Omega$. Estes valores são meramente indicativos e com base nestes escolheu-se a resistência de $100k\Omega$ para permitir que a maior parte da queda de tensão ocorra nos seus terminais. O valor da queda de tensão quando a placa se encontrava com água obtido foi 4.48V, este encontra-se exposto na figura 42.

Resultados

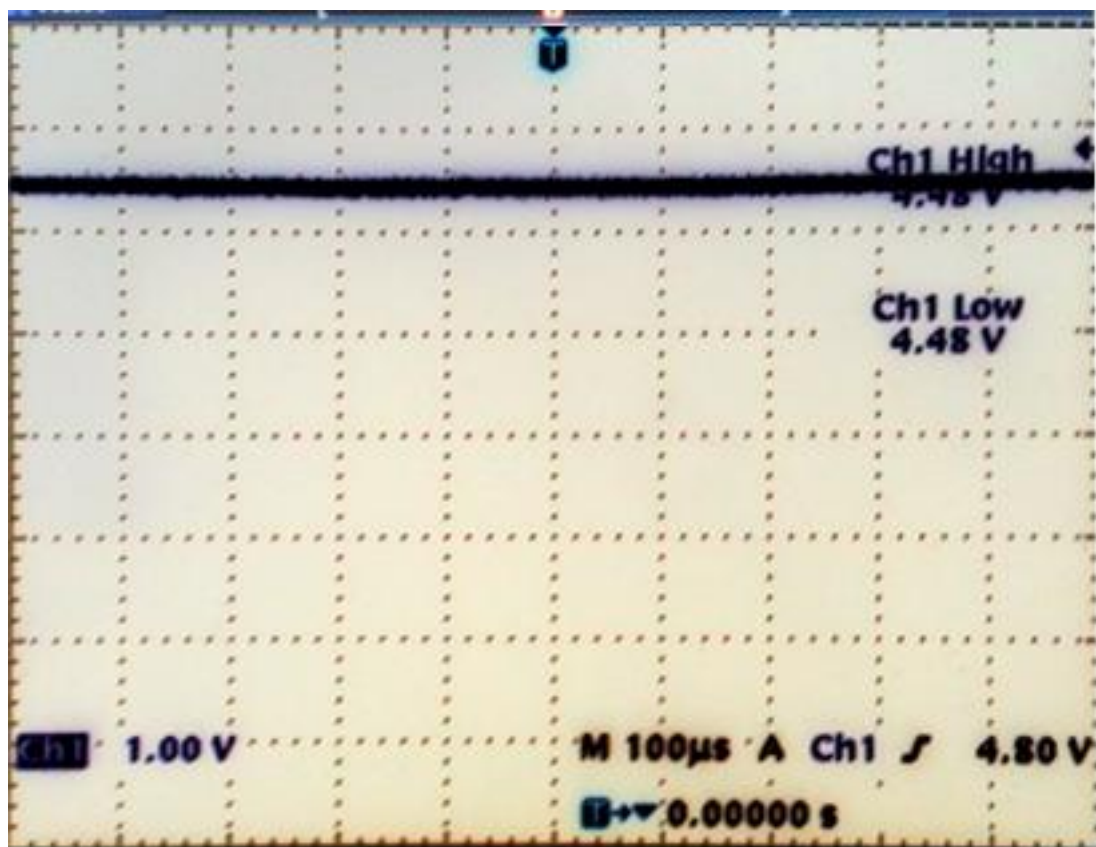


Figura 42 – Tensão obtida na presença de água

Para demonstrar que a placa actua em caso de condensação, humidade alta, com a ajuda do osciloscópio mediu-se a queda de tensão na resistência quando se expirava ar quente para a placa, confirmado também as mensagens enviadas pela PIC. O resultado obtido encontra-se na figura 43.

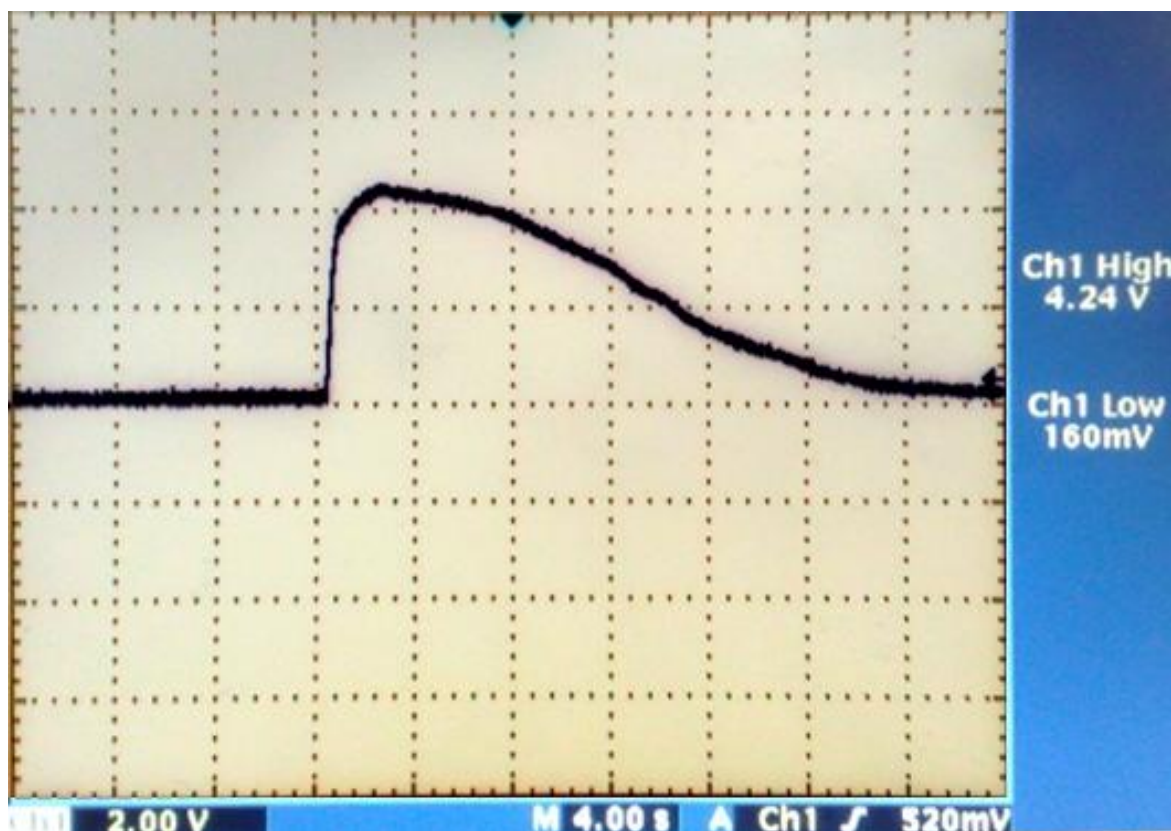


Figura 43 – Teste humidade

Como se pode verificar em caso de condensação existe uma passagem de corrente e consequente tensão formada aos terminais da resistência, como se pretendia e que permite ao PIC cortar a energia aos dispositivos.

7 Conclusões

Neste trabalho foi apresentada uma solução para a monitorização dos equipamentos da rede de testes AMazING e transmissão dos dados recolhidos.

A validade da solução proposta foi comprovada através da sua experimentação e comparação com resultados pretendidos teoricamente. O sistema desenvolvido é opção viável para o processo de monitorização e transmissão dos dados recolhidos.

Além do monitorizar os nós, recolher dados e disponibilizar estes quer ao utilizador quer ao gestor da rede, existe também outro factor que aumenta o interesse do trabalho desenvolvido pois como foi provado utilizando linhas de circuito impresso, próximas umas das outras, permite detectar humidades altas e condensação, de uma forma prática e de baixo custo podendo esta implementação ser utilizada noutras aplicações.

O desenvolvimento da solução apresentada nesta dissertação e a sua implementação permitiu uma aprendizagem aprofundada em diferentes áreas tecnológicas.

Com o estudo inicial das várias redes de testes existentes foi possível constatar os sistemas actualmente implementados para teste de redes, identificar as suas falhas e desenhar uma solução que permita acrescentar ainda mais dados ao utilizador. De salientar que a energia consumida é um factor cuja importância é crescente devido as preocupações ambientais e ao aumento do preço desta.

A investigação em torno dos protocolos de comunicação foi fundamental pois permitiu obter uma ideia sobre quais os prós e contras de cada protocolo e as suas aplicações.

Por fim a análise dos sensores foi de grande importância, aumentando os conhecimentos sobre os equipamentos existentes no mercado e quais as técnicas utilizadas para medir os diversos parâmetros, melhorando a solução proposta em termos da relação qualidade-preço.

A conjugação do conhecimento adquirido com o estudo das áreas referidas conferiu a esta dissertação a possibilidade de ser integrada noutras aplicações semelhantes.

Como trabalho futuro pode-se optimizar o processo de transmissão de dados, acrescentando multiplexeres de forma a permitir uma escolha bidireccional e desta forma

Conclusões

minimizar o tempo que o PIC se encontra a enviar os dados recolhidos, tornando-os mais eficientes energeticamente.

Pode também como refiro capítulo 4.3, utilizar o facto do microcontrolador escolhido suportar USB, e usar a característica para implementar uma interface que permita a reprogramação do PIC, usando um “bootloader” sem ser necessário desmonta-lo da placa e usar o kit de programação da Microchip [89].

8 Bibliografia

- [1] IEEE 802.11TM WIRELESS LOCAL AREA NETWORKS. (2011, Outubro) <http://www.ieee802.org/11/>. Online.
- [2] Wolfgang Kiess and Martin Mauve. (2006, Janeiro) A Survey on Real-World Implementations of Mobile Ad-Hoc Networks. <http://faculty.kfupm.edu.sa/coe/mayez/Selected-papers-March-7-2010/E-A%20survey%20on%20real-world%20implementations%20of%20mobile%20adhoc%20networks.pdf>.
- [3] GNS3 Graphical Network Simulator. (2011, Outubro) <http://www.gns3.net/>. Online.
- [4] Abas Md Said, Halabi Hasbullah Muhammad Imran. (2010, Junho) A Survey of Simulators, Emulators and Testbeds for Wireless Sensor Networks. 2010 International Symposium in Information Technology (ITSim).
- [5] OMF - Introduction - OMF Developer Portal. (2011, Outubro) <http://mytestbed.net/projects/omf/wiki/Introduction>. Online.
- [6] PlanetLab Europe. (2011, Outubro) <http://www.planet-lab.eu/>
- [7] Orbit. (2011, Outubro) <http://www.orbit-lab.org/>. Online.
- [8] UMIC-Mesh.net. (2011, Outubro) <http://www.umic-mesh.net/home/>. Online.
- [9] MIT Roofnet. (2011, Outubro) <http://pdos.csail.mit.edu/roofnet/doku.php>. Online.
- [10] Massachusetts Institute of Technology. (2011, Outubro) <http://web.mit.edu/>. Online.
- [11] OML - Measurement Framework - OML Overview - OMF Developer Portal. (2011, Outubro) <http://mytestbed.net/wiki/2>. Online.
- [12] Purdue University Wireless Mesh Network Testbed. (2011, Outubro) <https://engineering.purdue.edu/MESH/>. Online.
- [13] BerlinRoofNet - SarWiki. (2011, Outubro) <http://sarwiki.informatik.hu-berlin.de/BerlinRoofNet>. Online.

Bibliografia

- [14] Mobility Management and Networking Laboratory - UC Santa Barbara. (2011, Outubro) <http://moment.cs.ucsb.edu/>.
- [15] Gatech - Wireless Mesh Networks. (2011, Outubro) <http://www.ece.gatech.edu/research/labs/bwn/mesh/index.html>. Online.
- [16] Wireless Networking Research Testbed. (2011, Outubro) <http://networks.cs.ucr.edu/testbed/index.htm>. Online.
- [17] UMIC-Mesh Architecture. (2011, Outubro) <http://www.unic-mesh.net/testbed/realisation/architecture.html>. Online.
- [18] RWTH Aachen University. (2011, Outubro) <http://www.rwth-aachen.de/go/id/hi/>. Online.
- [19] Map MIT Roofnet. (2011, Outubro) <http://pdos.csail.mit.edu/roofnet/doku.php?id=map>. Online.
- [20] Hidetsugu Yagi Yagi Antenna. (2011, Outubro) http://www.jpo.go.jp/seido_e/rekishu_e/hidetsugu_yagi.htm. Online
- [21] Winlab Home. (2011, Outubro) <http://www.winlab.rutgers.edu/>. Online.
- [22] Rutgers. (2011, Outubro) <http://www.rutgers.edu/>
- [23] Tutorial/Testbed Orbit. (2011, Outubro) <http://www.orbit-lab.org/wiki/Tutorial/Testbed>
- [24] Instituto de Telecomunicações. (2011, Outubro) <http://www.it.pt/>. Online.
- [25] AMazING. (2011, Outubro) <http://atnog.av.it.pt/projects/amazing/>. Online.
- [26] AMazING Files. (2011, Outubro) http://helios.av.it.pt/attachments/download/319/AMazING_Architecture_-_ActualDeployment_Sep2010.pdf
- [27] Gomes, D.; Barraca, J. P.; Aguiar, R. L.. AMazING - Advanced Mobile wIreless Network playGround, Proc International Conf. on Testbeds and Research Infrastructures for the development of Networks and Communities, Berlin, Germany, Maio, 2010.
- [28] AMazING Panel. (2011, Outubro) <http://amazing.atnog.av.it.pt/>. Online.

- [29] Fon - A world of free WiFi. (2011, Outubro) <http://corp.fon.com/>. Online.
- [30] IEEE-SA -IEEE Get 802 Program. (2011, Outubro) <http://standards.ieee.org/about/get/802/802.3.html/>. Online.
- [31] Bosch; CAN Specification, Version 2.0B; 1991.
- [32] Electronic Industries Association. Engineering Dept.- Interface between Data Terminal Equipment and Data Communication Equipment Employing Serial Binary Data Interchange. Washington: Electronic Industries Association. Engineering Dept, 1969.
- [33] NXP Semiconductors - AN10216. (2011, Outubro) http://www.nxp.com/documents/application_note/AN10216.pdf. Online.
- [34] PARC, a Xerox company. (2011, Outubro) <http://www.parc.com/>. Online.
- [35] Gordon Bell's Publications. (2011, Outubro) <http://research.microsoft.com/en-us/um/people/gbell/Digital/DECMuseum.htm>. Online.
- [36] Laptop, Desktop, Server and Embedded Processor Technology - Intel. (2011, Outubro) <http://intel.com/>. Online.
- [37] Distinguished Lecture. (2011, Outubro) http://www.hicss.hawaii.edu/hicss_31/specpl3.html. Online.
- [38] Ethernet Cables RJ45/Colors & Crossover - Illustration. (2011, Outubro) http://www.bb-elec.com/tech_articles/EthernetCables_illustration.asp. Online.
- [39] Bosch Worldwide. (2011, Outubro) <http://bosch.com/>. Online.
- [40] Axelson, Jan - USB complete: everything you need to develop custom USB peripherals. 2nd ed. Madison (WI): Lakeview Research, cop. 2001. XVIII, 523 p. : il.. ISBN 0-9650819-5-8

Bibliografia

- [41] ATIS Telecom Glossary. (2011, Outubro)
<http://www.atis.org/glossary/definition.aspx?id=3197>. Online
- [42] Microchip Technology Inc, Controller Area Network (CAN) Basics, DS00713A, 1999.
- [43] Robert Bosch GmbH - CAN Specification 2.0. Stuttgart, Setembro 1991. (2011, Outubro) <http://www.semiconductors.bosch.de/media/pdf/canliteratur/can2spec.pdf>. Online
- [44] ISO 11898-1:2003 - Road vehicles -- Controller area network (CAN) -- Part 1: Data link layer and physical signalling. (2011, Outubro)
http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=33422. Online
- [45] EIA : Electronic Industries Alliance. (2011, Outubro)
<http://www.eaus.org/eia/site/index.html>. Online
- [46] ATIS Telecom Glossary. (2011, Outubro)
<http://www.atis.org/glossary/definition.aspx?id=5491>. Online
- [47] NADCOMM Papers and Writings. (2011, Outubro)
<http://www.nadcomm.com/fiveunit/fiveunits.htm>. Online
- [48] z/OS V1R12 information center. (2011, Outubro)
<http://publib.boulder.ibm.com/infocenter/zos/v1r12/topic/com.ibm.zos.r12.adms700/adms7a05158.htm>. Online
- [49] Image28. (2011, Outubro)
http://www.camiresearch.com/Data_Com_Basics/image28.gif. Online

[50] IHS/Global – Search Results. (2011, Outubro)

http://global.ihs.com/search_res.cfm?RID=TIA&INPUT_DOC_NUMBER=TIA-422.

Online

[51] PI - PROFIBUS & PROFINET International. (2011, Outubro)

<http://www.profibus.com/>. Online.

[52] Home :: NXP Semiconductors. (2011, Outubro) <http://www.nxp.com/>. Online.

[53] I²C bus repeaters/hubs/extendors :: NXP Semiconductors. (2011, Outubro)

http://www.nxp.com/products/interface_and_connectivity/i2c/i2c_bus_repeaters_hubs_extenders/. Online.

[54] NXP Semiconductors - UM10204 - I²C-bus specification and user manual. Rev. 03 - 19 June 2007. (2011, Outubro)

http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10204.pdf. Online

[55] Wired-AND bus demonstration. (2011, Outubro) <http://tams-www.informatik.uni-hamburg.de/applets/hades/webdemos/00-intro/03-stdlogic/wired-and.html>. Online

[56] Fonseca, Pedro – Sistemas de Instrumentação Electrónica. Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática, Universidade de Aveiro, Aveiro, edição 2007/08

[57] Frost & Sullivan's global team of industry experts, consultants, market analysts, and research executives offer business consulting, market analysis, market research. (2011, Outubro) <http://www.frost.com/>. Online

[58] EUROPA – EU website. (2011, Outubro) <http://europa.eu/>. Online

[59] BIPM: Bureau International des Poids et Mesures. (2011, Outubro)

<http://www.bipm.org/>. Online

Bibliografia

- [60] BIPM - base units. (2011, Outubro) http://www.bipm.org/en/si/base_units/. Online
- [61] Anders Celsius (1701-1744). (2011, Outubro)
http://www.astro.uu.se/history/Celsius_eng.html. Online
- [62] Dally, James W. - Instrumentation for engineering measurements. 2nd ed. New York : John Wiley, cop. 1993. XXI, 584 p. : il.. ISBN 0-471-55192-9
- [63] Agilent Technologies – Practical Temperature Measurements. Agilent Technologies, Inc. Application Note 290. (2011, Outubro)
<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5965-7822E.pdf>. Online
- [64] Baker, B. C. – Single Supply Temperature Sensing with Thermocouples. Microchip Technology, Inc. Application Note 684. (2011, Outubro)
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/00684a.pdf>. Online
- [65] Kinzie, P. A. - Thermocouple temperature measurement. New York : John Wiley, 1973. VIII, 278 p.. ISBN 0-471-48080-0
- [66] Thomas Johann Seebeck. (2011, Outubro)
<http://www.ling.fju.edu.tw/hearing/historical%20review1821.htm>. Online
- [67] thermocouple_A. (2011, Outubro)
http://www.efunda.com/designstandards/sensors/thermocouples/images/thermocouple_A.gif. Online
- [68] Termopares. (2011, Outubro) <http://www.recomsupply.com.br/img/p/109-154-thickbox.jpg>. Online
- [69] Resistance Temperature Detectors. (2011, Outubro)
<http://www.specsensors.com/rtd.asp>. Online

[70] NTC_thermistor_leaded_sensor. (2011, Outubro)
http://img.diytrade.com/cdimg/540370/3532983/0/1177297986/NTC_thermistor_leaded_sensor.jpg. Online

[71] Silicon temperature sensor integrated circuit - -30 - 70 °C | T Sic - IST AG. (2011, Outubro) <http://www.directindustry.com/prod/ist-ag/silicone-temperature-sensor-integrated-circuits-34779-463605.html>. Online

[72] Brokaw, A. P. – A simple three-terminal IC bandgap reference. IEEE Jornal on Solid-State Circuits. Vol. 9, Dec 1974, pp. 388 - 393

[73] High precision potentiometer - $\pm 1\%$ - $\pm 0,05\%$ - COUDOINT S.A.S.. (2011, Outubro) <http://www.directindustry.com/prod/coudoint-sas/high-precision-potentiometers-64090-418932.html>. Online

[74] Farnell / Electronic Component Distributors / Suppliers / Electronics, Electrical Parts, Electrical Components and Wholesale Electronics. (2011, Outubro)
<http://www.farnell.com/>. Online

[75] American Electronic Components – Durakool Switches & Sensors. American Electronic Components, Inc. (2011, Outubro)
http://www.aecensors.com/pdf/Switches_and_Sensors_Catalog.pdf. Online

[76] Honeywell Sensing and Control. (2011, Outubro) <http://sensing.honeywell.com/>.
Online

[77] Bureau International des Poids et Mesures – The International System of Units (SI). Bureau International des Poids et Mesures, 8th edition 2006. (2011, Outubro)
http://www.bipm.org/en/si/si_brochure/. Online

[78] The Hall Effect. (2011, Outubro) http://www.nist.gov/pml/div683/hall_effect.cfm.
Online

Bibliografia

- [79] Product Folder - LM7805 - 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator, Fairchild Semiconductor. (2011, Outubro) <http://www.fairchildsemi.com/pf/LM/LM7805.html>. Online
- [80] Microchip Technology Inc. (2011, Outubro) <http://www.microchip.com>. Online
- [81] PIC18F2550. (2011, Outubro)
<http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010280>. Online
- [82] MPLAB Integrated Development Environment. (2011, Outubro)
http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en019469. Online
- [83] LM335A - Precision Temperature Sensor. (2011, Outubro)
<http://www.national.com/mpf/LM/LM335A.html#Overview>. Online
- [84] AD623 | Single Supply, Rail-Rail, Low Cost Instrumentation Amplifier | Instrumentation Amplifiers | Specialty Amplifiers | Analog Devices. (2011, Outubro)
<http://www.analog.com/en/specialty-amplifiers/instrumentation-amplifiers/ad623/products/product.html>. Online
- [85] CIF|AJB16|RBP STRIP, PROTOBOARD, 100X160 | Farnell Portugal. (2011, Outubro) <http://pt.farnell.com/cif/ajb16/rbp-strip-protoboard-100x160/dp/1201473?Ntt=1201473>. Online
- [86] ITRI - Tin Markets, Technology and Sustainability. (2011, Outubro)
<http://www.itri.co.uk/>. Online
- [87] Relays, Switches, Connectors, MEMS flow sensors, Pressure sensors, and Optical components from Omron Electronic Components LLC. (2011, Outubro)
[http://www.components.omron.com/components/web/webfiles.nsf\\$FILES/family.html?ID=JNEE-6WGRZT](http://www.components.omron.com/components/web/webfiles.nsf$FILES/family.html?ID=JNEE-6WGRZT). Online
- [88] Interface - RS-232 - MAX232 - TI.com. (2011, Outubro)
<http://www.ti.com/product/max232>. Online

[89] PICkit 3 In-Circuit Debugger. (2011, Outubro) <http://www.microchip.com/pickit3>.
Online